

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Ympäristötekniikan koulutus

Otto Summala

BIOKAASULAITOKSEN REJEKTIVESIEN
KONSENTRINTILAITTEISTON ASENNUS JA
KÄYTTÖOHJEIDEN LAATIMINEN

Opinnäytetyö
Joulukuu 2017



OPINNÄYTETYÖ
Joulukuu 2017
Ympäristötekniikan koulutus

Tikkarinne 9
80200 JOENSUU
013 260 600

Tekijä
Otto Summala

Nimeke
Biokaasulaitoksen reaktiivien konsentroidilaitteiston asennus ja käyttöohjeiden laatiminen
Toimeksiantaja
BioKymppi Oy

Tiivistelmä

Toiminnallisessa opinnäytetyössä tehtävänä oli asentaa biokaasulaitokselle lannoitteiden konsentroidilaitteistot sekä laatia laitteistojen käyttöohjeet. Laitteistojen tarkoituksena on saada ravinteet tiiviimpään muotoon. Käsittelyssä poistetaan mädätysjäätännöksestä vettä 70 - 80 %. Työ tehtiin toimeksiantona BioKymppi Oy:lle.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin konsentroidilaitteistot toimintakuntoon ja laitteilla onnistuttiin jalostamaan mädätysjäätännöstä halutulla tavalla. Laitteistoissa on vielä puutteita ja kehitettävää. Prosessin aikana havaittiin, että mikäli sisään syötettävän reaktiivien COD-arvo oli yli 20 mg / g, ilmeni erotusprosessissa ongelmia. Tuloksena saatiin myös laadittua Landco-moduulin, eli konsentroidilaitteistojen käyttöohjeet.

Opinnäytetyön jatkotutkimuksena tullaan luultavasti tekemään saman tyyppinen työ laitteistoa täydentävien osien käyttöönotosta. Lisäksi laitteistolla tuotettuja lannoitteita analysoidaan ja niiden tehokkuutta tutkitaan.

Kieli
suomi

Sivuja 42
Liitteet 2
Liitesivumäärä 38

Asiasanat

biokaasulaitokset, kalvotekniikka, käyttöohjeet, lannoitteet



THESIS
December 2017
Environmental Technology

Tikkarinne 9
80220 JOENSUU
FINLAND
013 260 600

Author
Otto Summala

Title
Installation of Biogas Plant Reject Water Concentrate System and Making User Manual
Commissioned by
BioKymppi Oy

Abstract

The task of this functional thesis was to install fertilizer concentrating gadgets and making a user manual to gadgets. The purpose of the gadgets is to get nutrients in a tighter form. In treatment, 70 to 80 % of the water is removed from the digestion. The work was commissioned by BioKymppi Oy.

As a result of the thesis, the concentrating equipment was brought into operation and the equipment was able to process the digestion as desired. There are still shortcomings in the equipment and development. During the process it was found that if the COD value of the input water was higher than 20 mg / g, there were problems in the separation process. The result was also a user manual for the preparation of the Landco Module.

As further research, the same type of work on deploying missing parts of the hardware will be made. In addition, the fertilizers produced by the equipment are analyzed and their efficiency investigated.

Language
Finnish

Pages 42
Appendices 2
Pages of Appendices 38

Keywords

biogas plants, membrane technology, user manuals, fertilizers

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Tietoperusta	8
2.1	Keskeiset käsitteet	8
2.2	Biokaasun tuotanto	10
2.3	Mädätysjäännöksen käsittelyn tarkoitus	10
2.4	Vaihtoehtoisia mädätysjäännöksen käsittelymenetelmiä	11
2.4.1	Mekaaninen kuivaus	11
2.4.2	Terminen kuivaus	12
2.4.3	Rejektiveden käsittelymenetelmiä	13
2.5	BioKympin käyttämä tekniikka	13
2.5.1	Ruuvipuristuskuijaus	15
2.5.2	UASB-reaktori	15
2.5.3	Esisuodatus	16
2.5.4	Membraanierotusmenetelmät	17
2.5.5	Struviittisaostus	19
2.6	Aiemmat tutkimukset	20
3	Lähtökohdat ja tarkoitus	22
3.1	Opinnäytetyön tyyppi	23
3.2	Aiheen rajaus	23
4	Toteutus	26
4.1	Esivalmistelut	26
4.2	Toimitus ja asennus	26
4.3	Testiajot ja käyttöönotto	27
5	Tulosten tarkastelu	32
5.1	Asennus ja käyttöönotto	32
5.2	Käytön analysointi	32
5.3	Tilanne syyskuussa 2017	35
5.4	Laboratorioanalyysit	36
5.5	Landco-moduulin käyttöohjeet	38
6	Pohdinta	40
	Lähteet	42

Liitteet

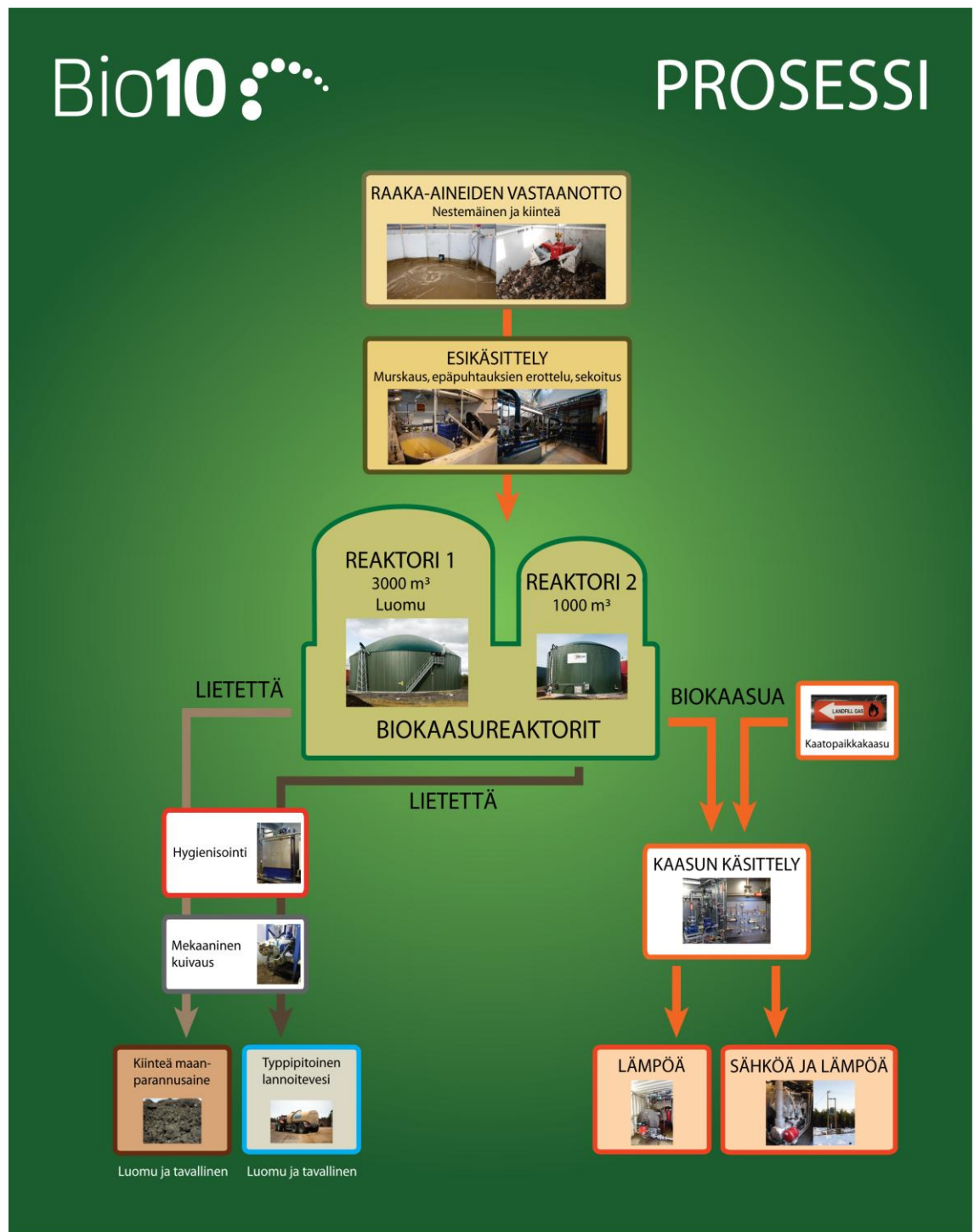
Liite 1 Landco-moduulin käyttöohjeet

Liite 2 Landco-moduulin käyttödataa

1 Johdanto

Opinnäytetyö käsittelee biokaasulaitoksen rejektivesien erotteluun käytettäviä laitteistoja. Erottelun tarkoituksena on saada kustannustehokkaasti kasveille käyttökelpoisessa muodossa olevia lannoitteita. Käytettävyyden lisäksi lannoitteiden ravinnepitoisuus kasvaa, joten lannoitteiden varastoinnista, kuljetuksesta ja levityksestä tulee tehokkaampaa.

Opinnäytetyö tehdään BioKymppi Oy:lle toimeksiantona. BioKymppi Oy on Kiteellä sijaitseva biokaasulaitos, jossa käsitellään orgaanisia jätteitä. Työ on osa BioRaKi-hanketta. Opinnäytetyössä tarkasteltavat laitteistot otettiin käyttöön BioKymppi Oy:n biokaasulaitoksella Kiteellä. Laitteistojen toimittaja on luxemburgilainen Landco S.A. Laitteistojen käyttöönotossa olivat mukana Landco S.A, BioKymppi Oy ja Doranova Oy.



Kuva 1. BioKymppi Oy:n prosessikaavio (Kuva: Bio10.fi).

Erotusprosessissa käytettävät tekniikat ovat jälkimädätys (UASB-reaktori), esisuodatus (Azud), ultrasuodatus (UF), käänteisosmoosi (RO) sekä struviittisaostus. Prosesseista syntyy lannoitekonsentraattia (RO), lannoitepellettejä (struviit-

tisaostus) sekä vettä. Projektin aikataulun viivästymisen takia UASB-reaktoria ja struviittisaostusta käsitellään vain teoreettisella tasolla.

2 Tietoperusta

2.1 Keskeiset käsitteet

Azud on esisuodatuslaitteisto, jota käytetään konsentroitiprosessissa.

Biokaasu on kaasuseos, joka koostuu pääosin metaanista ja hiilidioksidista. Kaasua voidaan käyttää lämmön tai sähköntuotantoon, tai se voidaan jalostaa liikennepolttoaineeksi (Motiva 2013, 3).

Taulukko 1. Tyypillinen biokaasun koostumus (Motiva 2013).

Aine	%
Metaani, CH ₄	55-75
Hiilidioksidi, CO ₂	25-45
Hiilimonoksidi, CO	0-0,3
Typpi, N ₂	1-5
Vety, H ₂	0-3
Rikkivety, H ₂ S	0,1-0,5

COD-analyysi mittaa kemiallista hapenkulutusta. Käytännössä se indikoi orgaanisen aineen määrää näytteessä.

Konsentraatti on membraanin läpäisemätön jae. Tässä työssä valmiista lannoitetiivisteestä käytetään nimeä konsentraatti.

Loppuvarastosäiliö on lopputuotteelle, eli mädätysjäännökselle tarkoitettu säiliö. Loppuvarastosäiliöissä voidaan myös säilyttää käsiteltyä mädätysjäännöstä kuten rejektivettä.

LuomuKymppi A on BioKymppin mädätysjäännöksen tuotenimi.

LuomuKymppi B on BioKymppin mädätysjäännöksestä erotettavan kuivajakeen tuotenimi.

Membraani on kalvosuodatusmekaniikassa käytettävä puoliläpäisevä kalvo.

Mädätysjäännös on lietemäistä ainesta, joka koostuu mädätetystä biokaasureaktorin syötteestä. Kaikki reaktoriin syötetyt ravinteet jäävät mädätyksen jälkeen mädätysjäännökseen. Ravinnepitoisuus ja koostumus voi vaihdella prosessista ja syötteestä riippuen. (Motiva 2013, 13.)

Permeaatti on membraanin läpi suodattu jae.

Rejektivesi tarkoittaa biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen kuivauksen yhteydessä syntyvää nestejätettä. Mekaanisessa kuivauksessa rejektivettä syntyy noin 75 - 90 % mädätysjäännöksestä. Rejektiveden sisältö riippuu mm. syötteen koostumuksesta. Tavallisesti rejektivesi sisältää paljon orgaanista ainetta sekä typpeä. (Latvala 2009, 55 - 56.)

RO1 on ensimmäisen käänteisosmoosilaitteiston lyhennys.

RO2 on toisen käänteisosmoosilaitteiston lyhennys.

Ruuvikuivain mädätysjäännöksen kuivaukseen käytettävä väline, joka erottaa mädätysjäännöksen kuivajakeeseen (LuomuKymppi B) sekä rejektiveteen.

UASB-reaktori (upflow anaerobic sludge blanket) on mädätysreaktorityyppi.

UF on ultrasuodatuslaitteiston lyhennys.

2.2 Biokaasun tuotanto

Motivan julkaisussa Biokaasun tuotanto maatilalla todetaan, että biokaasua tuotetaan mädättämällä orgaanisia aineita hapettomissa olosuhteissa. Biokaasuprosessissa syntyy biokaasua sekä mädätysjäännöstä. Biokaasuntuotantoon kelpaavat lähtökohtaisesti kaikki orgaaniset aineet. Käytännössä kuitenkin tehokkaimpia raaka-aineita ovat muutenkin nopeasti hajoavat materiaalit. Tyypillisimpiä raaka-aineita biokaasuntuotannossa ovat biojätteet, elintarviketeollisuuden jätteet, eläinten lanta sekä jätevedenpuhdistamolietteet. (Motiva 2013, 3 - 6.)

Kiteen biokaasulaitoksella biokaasua tuotetaan mesofiilisessa märkämädätysprosessissa. Motivan selvityksessä todetaan, että mesofiilinen prosessi tarkoittaa mädätystä joka tapahtuu 32 - 42 °C:ssa. Mädätysprosessi voi olla myös psykrofiilinen tai termofiilinen riippuen prosessin lämpötilasta. (Motiva 2013, 5.) Märkämädätyksellä tarkoitetaan mädätysprosessia, jossa mädätettävän aineen kuiva-ainepitoisuus on alle 15 %.

2.3 Mädätysjäännöksen käsittelyn tarkoitus

Biokaasulaitoksilla mädätysjäännöstä syntyy jatkuvasti. Latvala kertoo Suomen ympäristökeskuksen selvityksessään, että tyypillisesti mädätysjäännöstä joko kuivataan tai kompostoidaan. Käsitelty mädätysjäännos voidaan käyttää viherrakentamiseen, hyödyntää maa- ja metsätalouden lannoitteena, tai viedä kaatopaikalle. (Latvala 2009, 49 - 50.)

Lannoitekäytössä ja viherrakentamisessa tuotteen tulee olla turvallisia ja tasalaa-tuisia. Lannoitevalmistelaki ja sivutuoteasetus määräävät tarkkaan millaista lannoitteena tai kasvualustana käytettävän mädätysjäännöksen tulee olla. Kaatopaikoilla mädätysjäännöstä voidaan käyttää päivittäispeittomateriaalina, tai kaatopaikan sulkemisen jälkeen maakerroksen luomisessa. (Latvala 2009, 50.)

Lannoitekäytössä mädätysjäännöksen käsittely on siis säänneltyä. Kriteerien täyttämisen lisäksi käsittelyllä voidaan jalostaa lannoitetta käytettävämpään muotoon. Veden poisto on yksi oleellinen osa tällaista jalostusta. Veden poiston avulla lannoitteessa olevat ravinteet saadaan tiiviimpään muotoon ja näin ollen ei lannoitteen kuljetuksen yhteydessä tarvitse kuljettaa niin paljon vettä.

2.4 Vaihtoehtoisia mädätysjäännöksen käsittelymenetelmiä

2.4.1 Mekaaninen kuivaus

Märkämädätysprosessista tulevan mädätysjäännöksen kuiva-ainepitoisuus on yleensä noin 3 - 15 %. Yleensä ensisijaisesti tällaisen mädätysjäännöksen kuivauksessa käytetään mekaanisia menetelmiä. Yleisesti käytettyjä mekaanisia kuivausmenetelmiä ovat linkokuivaus, suotonauhakuivaus, sekä ruuvipuristus. (Latvala 2009, 51.)

Linkokuivaus perustuu keskipakovoiman hyödyntämiseen. Kiintoaine laskeutuu linkokuivauksessa pohjalle erilleen nesteestä. Linkokuivain koostuu kartiomaisesta rummusta ja sen sisällä pyörivästä ruuvista. Linkousta käytetään yleisesti jäteveden puhdistamoilla. Linkokuivauksella saadaan kuivajakeen kuiva-ainepitoisuudeksi noin 15 - 35 %. Energiantarve linkokuivauksessa on 1 - 1,5 kWh/ lietetonni. Käsittelykapasiteetti on tavallisesti 10 -50 m³/h. (Latvala 2009, 51.) Linkokuivaus on tehokas mutta melko kallis investointi ja sen energiankulutus on suurta.

Suotonauhakuivauksessa mädätysjäännös puristetaan painovoiman ja puristustelojen avulla viirojen lävitse. Ensin mädätysjäännös ohjataan ylemmälle viiralle, josta se suodattuu painovoimaisesti alemmalle viiralle. Alemmalla viiralla tapahtuu puristusvaihe, jossa mädätysjäännös puristetaan viiran läpi. Käsittelykapasiteetti on tavallisesti 3 – 20 m³ /h. Käsittelyn jälkeen kuivajakeen kuiva-ainepitoisuus on noin 15 – 25 %. Suotonauhakuivaimen tehon tarve on vähäinen,

mutta se on tarkka mädätysjäännöksen laadun suhteen ja vaatii aktiivista valvontaa. (Latvala 2009, 51 - 52.)

2.4.2 Terminen kuivaus

Termisessä kuivauksessa mädätysjäännöksestä haihdutetaan vettä lämmittämällä. Haihduttamalla voidaan päästä jopa 90 %:n kuiva-ainepitoisuuteen. Termistä kuivausta käytetään yleensä mekaanisen kuivauksen jatkokäsittelynä. Teminen kuivaus on kustannuksiltaan kallis menetelmä. Sähköenergiankulutus menetelmällä on noin 4 - 5 kWh/ m³ esikuivatettua lietettä. Lämpöenergian kulutus puolestaan on noin 500 - 3500 kJ /haihdutettu kg H₂O. Energian kulutus on pitkälti riippuvainen haihdutettavan veden määrästä, sekä lämmön talteenoton tehokkuudesta. Termisen kuivauksen yleisesti käytettyjä tekniikoita ovat kontaktikuivaus, konvektiokuivaus ja rakeistus. (Latvala 2009, 52 - 53.)

Kontaktikuivauksessa lämpö johdetaan kuumasta pinnasta kuivattavaan mädätysjäännökseen. Kuivaus voi tapahtua esimerkiksi levittämällä ohut kerros mädätysjäännöstä kuumalle levypinnalle. Ongelmana voi olla lämmityksen tasalaatuisuuden puute. Menetelmässä energian hyötysuhde on hyvä, mutta siitä huolimatta energiaa kuluu paljon. (Latvala 2009, 53.)

Konvektiokuivauksessa mädätysjäännöksen läpi johdetaan kuumaa ilmaa. Kosteus siirtyy lietteestä kuumaan kaasuvirtaan. Prosessissa voidaan käyttää palo-kaasuja tai ilmaa voidaan erikseen kuumentaa kuivausta varten. Konvektiokuivauksessa mädätysjäännös kuivettuu rakeiksi jotka voidaan erotella talteen. Menetelmän energiahyötysuhde on heikko ja poistoilman ja pölyn määrä prosessissa on suuri. (Latvala 2009, 53.)

Rakeistus on menetelmä, jolla kuivattu mädätysjäännös saadaan hyvin lannoituskäyttöön sopivaan muotoon. Rakeistuksessa kuivattu mädätysjäännös puristetaan rakeiksi esimerkiksi puristamalla se murenevaksi levyksi telojen välissä.

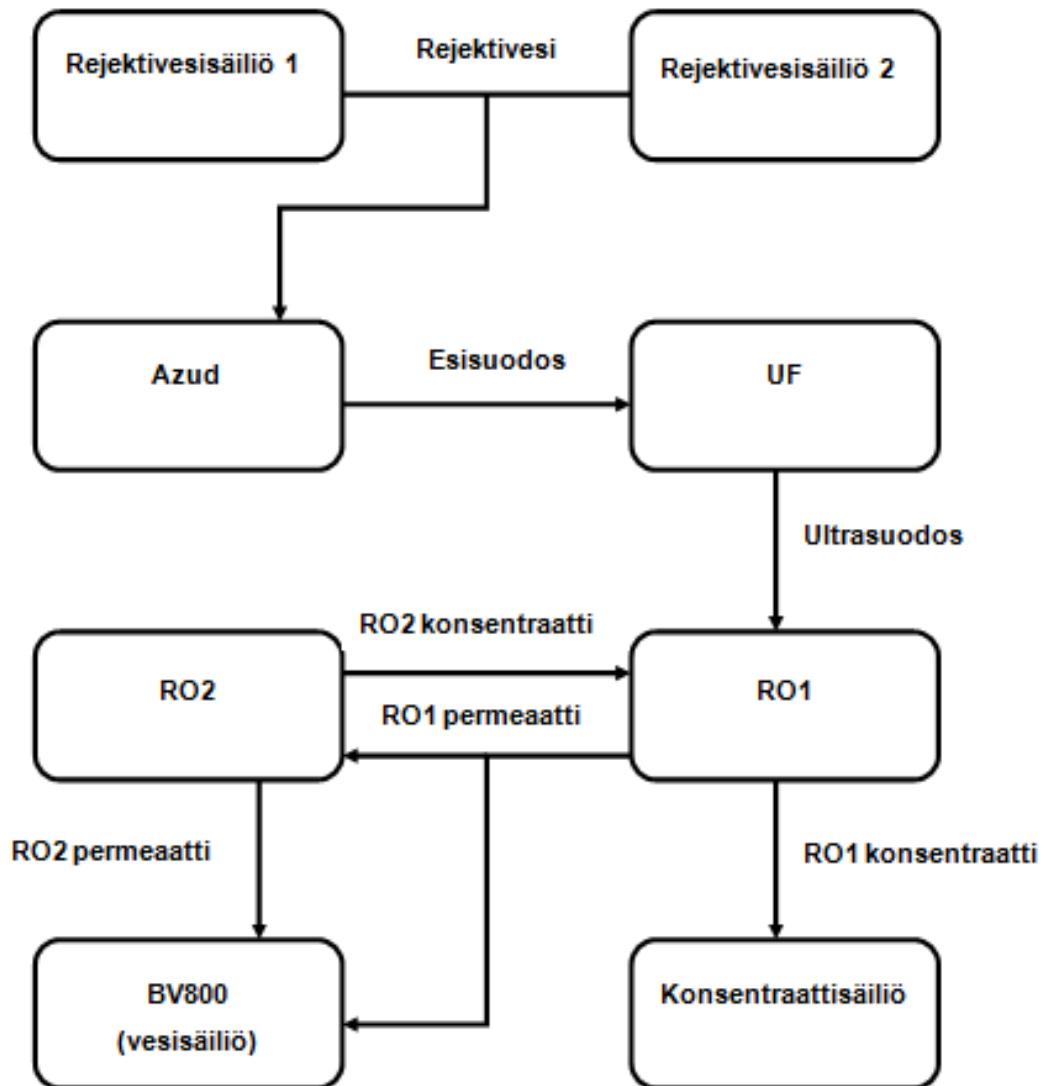
(Latvala 2009, 53.) Rakeistamistapoja on monenlaisia, mutta pääosin ne perustuvat jonkinlaiseen puristamiseen.

2.4.3 Rejektiveden käsittelymenetelmiä

Biokaasulaitoksien rejektivedet voidaan yleensä hyödyntää lannoituskäyttöön. Latvala toteaa, että hyödyntämisen sijaan rejektivesi voidaan myös käsitellä jätevedenpuhdistamojen käyttämällä tekniikoilla. Tyypillisiä menetelmiä ovat kiintoaineen poisto selkeyttämällä, biologinen typen poisto ja fosforin kemiallinen saostus. (Latvala 2009, 57.) Käytännössä rejektiveden käsittelylle ei ole tarvetta, mikäli se saadaan hyödynnettyä.

2.5 BioKymppin käyttämä tekniikka

BioKympillä mädätysjäännöksen käsittely tapahtui ennen ruuvikuivaimella siten, että käsittelystä saatiin LuomuKymppi A:ta ja LuomuKymppi B:tä. Seuraavaksi esitellään tekniikat, jotka on tarkoitettu LuomuKymppi A:n käsittelyyn. Osiossa esitellään laitteiston osien toimintaperiaatteet sekä Biokymppi Oy:n käyttämän konsentroitiprosessin toiminta kokonaisuutena. Tämänhetkisen prosessin lisäksi esitellään myös menetelmät, jotka prosessiin aiotaan lisätä tulevaisuudessa (UASB-reaktori ja struviittisaostus).



Kuvio 1. Yksinkertaistettu prosessikaavio konsentrintilaitteiston toiminnasta. Prosessiin lisätään tulevaisuudessa vielä UASB-reaktori sekä struviitisaostuslaitteisto.

Rejektivesi pumpataan esisuodatukseen jommasta kummasta rejektivesisäiliöstä. Esisuodattimet läpäisevä aines pumpataan ultrasuodattimelle. Ultrasuodattimet läpäisevä aines pumpataan ensimmäiseen käänteisosmoosiin. Esisuodattimiin ja ultrasuodattimiin jäävä kuona kulkeutuu pesussa lattiakaivon kautta takaisin bio-kaasureaktoriin. Ensimmäisestä käänteisosmoosista saadaan valmis lannoite-konsentraatti, joka pumpataan konsentraattisäiliöön. Lisäksi ensimmäisestä käänteisosmoosista saadaan permeaatti, joka on käytännössä kirkasta, lähes

puhdasta vettä. Permeaatti voidaan ottaa suoraan talteen joko pesuvesisäiliöön BV800, tai se voidaan ajaa toiseen käänteisosmoosiin tarkemmin puhdistettavaksi. Toisesta käänteisosmoosista saatava konsentraatti on niin laimeaa, ettei se sovellu lannoitteeksi. Se kierrätetäänkin vielä uudestaan ensimmäiselle käänteisosmoosille. Toisen käänteisosmoosin permeaatti otetaan BV800-pesuvesisäiliöön.

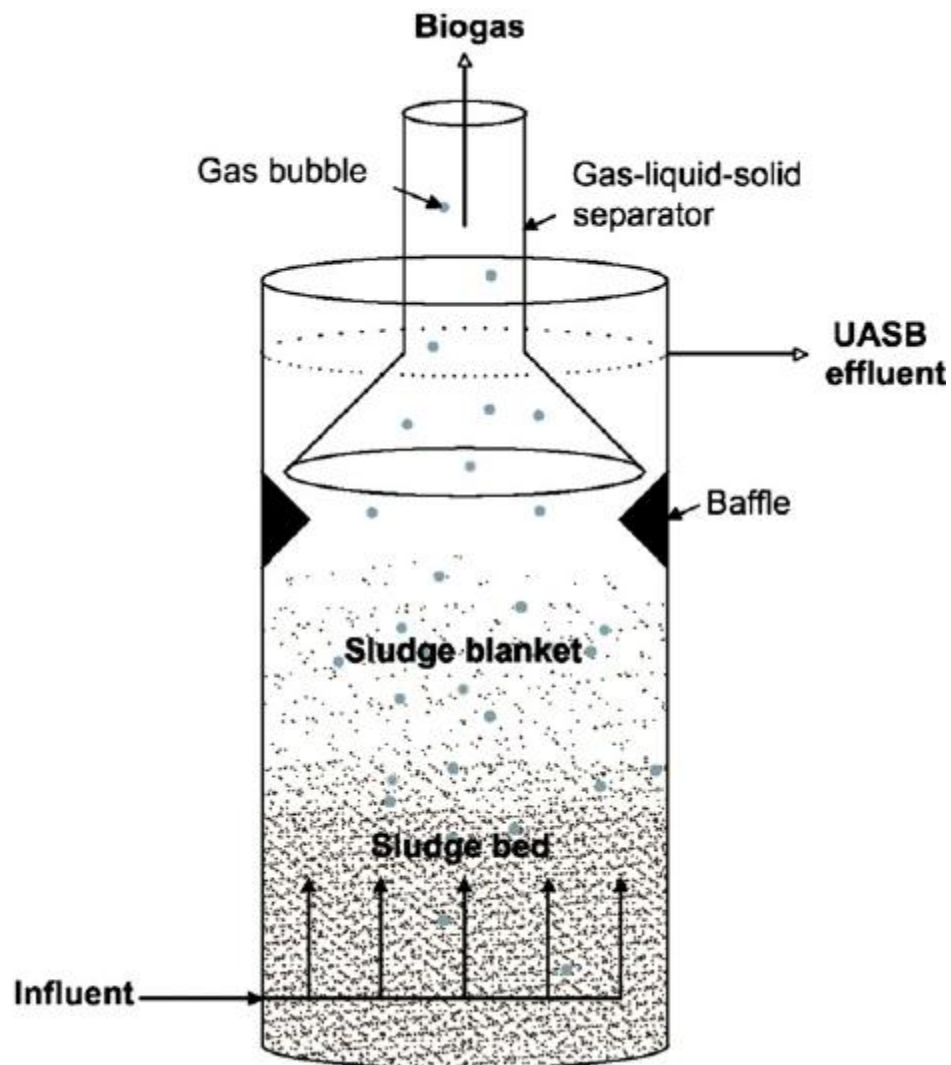
2.5.1 Ruuvipuristuskuivaus

Kiteen biokaasulaitoksella rejektivettä syntyy mekaanisessa ruuvikuivauksessa. Hygienisoitu mädätysjäännös kulkee ruuville, joka puristaa mädätysjäännöstä seulaverkkoa vasten. Rejektivettä menee seulasta läpi ja ruuvi kuljettaa kiinteän aineen eteenpäin. Kuivajakeen kuiva-ainepitoisuus on tavallisesti ruuvikuivauksen jälkeen 15 - 35 % (Latvala 2009. 52). Ruuvikivain ei kuulu Landco S.A:n toimittamiin konsentrintilaitteisiin, vaan se on ollut BioKymppi Oy:n käytössä jo aiemmin.

2.5.2 UASB-reaktori

UASB-teknologiaa (upflow anaerobic sludge blanket) on mädätysprosessiin perustuva tekniikka, jolla käsitellään tavallisesti jätevesiä (Torvinen 2016, 26). UASB-reaktori poistaa tehokkaasti orgaanista ainetta. Se on tarkoitettu jätevesille, joiden COD-pitoisuus on 5000-20000 mg/l. (Torvinen 2016, 26 - 27.) Reaktori koostuu kahdesta osasta: kolonnista ja kolmivaiheisesta kaasu-neste-kiinteä -erottimesta. Aluksi reaktoriin laitetaan ympäri eli sopivan bakteerikannan sisältävä mädäte. Reaktoriin syntyy käynnistysvaiheen jälkeen pohjalle tiheä lietepeite. Lietepedin päälle syntyy vielä lietepeitto, jossa on lietepetiä vähemmän biomassaa. Käsiteltävä liete syötetään reaktoriin pohjasta niin, että se virtaa ylöspäin lietepeitin ja lietepeiton lävitse. Influenttivirtauksen liikkuesssa alhaalta ylöspäin, muuttavat mikrobit orgaanisia yhdisteitä biokaasuksi. Muodostuneet kaasukuplat nosta-

vat lietettä ylöspäin. Kuplat törmäävät kaasu-neste-kiinteä-erottimeen ja kaasu irtoaa muusta aineksesta. Kaasu kerätään talteen ja käsitelty jätevesi (effluent) poistuu reaktorin yläpäästä ylivirtauksena. Ohjainlevyt (baffle) ohjaavat kelluvan lietteen ja elinkelpoisen bakteeriaineksen takaisin reaktioalueelle. (Torvinen 2016, Ang ym. 2012, 4 mukaan.)



Kuva 2. UASB-reaktori (Kuva: Ang ym. 2012, 4).

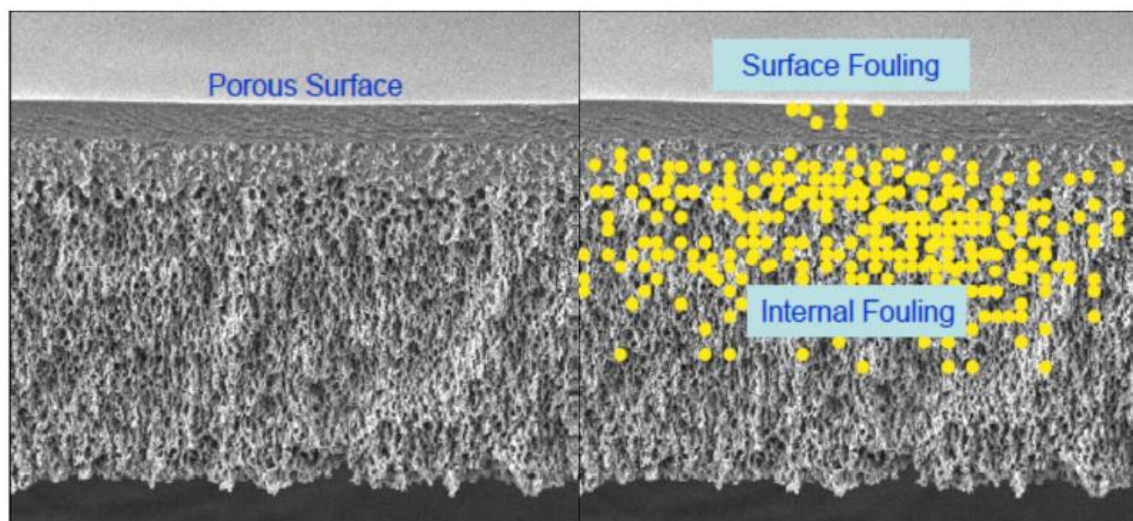
2.5.3 Esisuodatus

Rejektiveden esisuodatus tapahtuu Azud-nimisellä laitteistolla. BioKympillä käytössä olevassa Azudissa on kolme rengaspakkaa. Ensimmäisen pakan renkaissa on 400 μm :n urat, toisen pakan renkaissa 200 μm :n urat ja kolmannen pakan

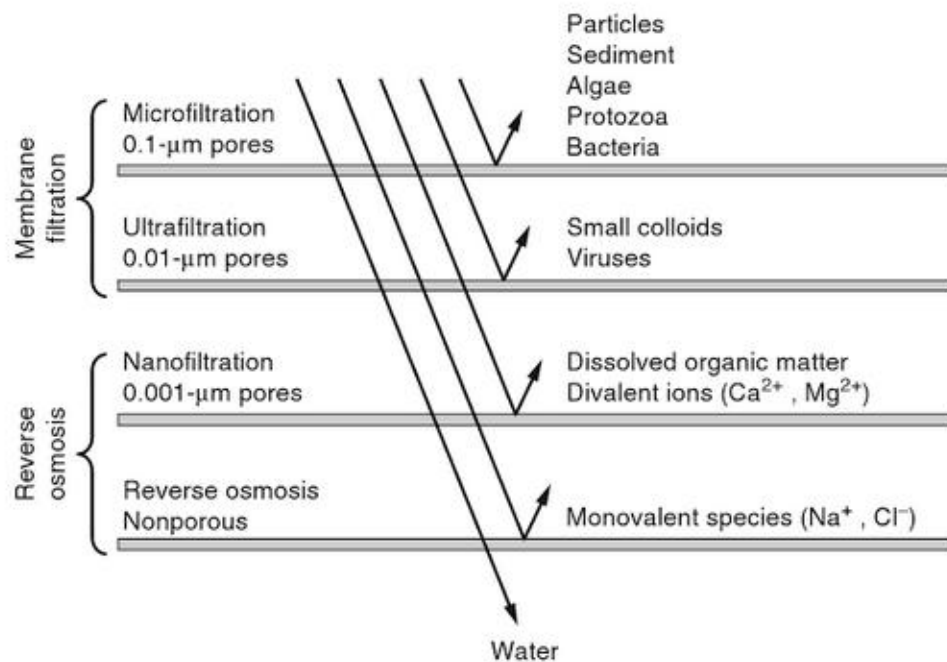
renkaissa 120 µm:n urat. Rejektivesi pumpataan näiden pakkojen lävitse ja kukin pakka päästä lävitse vain urien kokoisia tai pienempiä partikkeleita. Azudissa on myös vastapesuominaisuus. Kun rengaspakat alkavat tukkeutua, aloittaa Azud automaattisesti vastapesun, jossa renkaiden välejä huuhdellaan vedellä ja paineilmalla.

2.5.4 Membraanierotusmenetelmät

Membraaneja voidaan käyttää erilaisten seosten erotteluun. Membraanierotusmenetelmiä ovat mm. mikro-, ultra- ja nanosuodatus sekä käänteisosmoosi (Huitinen 2014, 8). Membraanisuodatuksen periaatteena on, että puoliläpäisevä membraani päästää yhden tai useamman syötteen komponenteista vapaasti läpi, kun toisten komponenttien membraanin läpäisy on vähäistä (Arola & Mänttari 2013, 3 - 4).



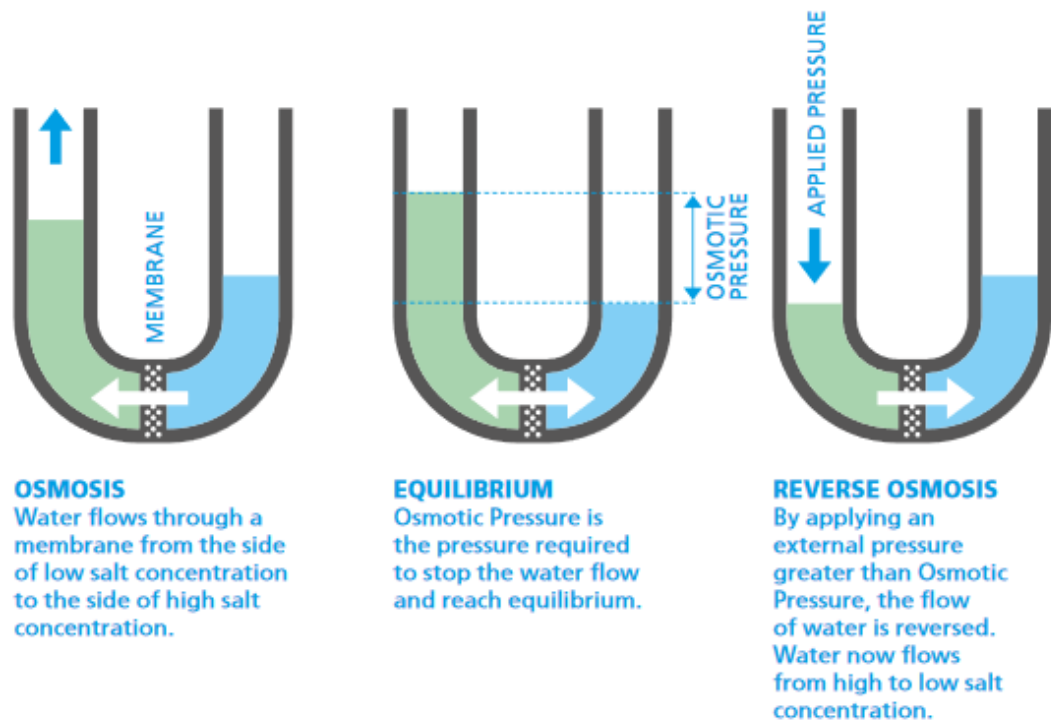
Kuva 3. Membraanin huokoset puhtaana sekä havainnekuva niiden tukkeutumisesta (Kuva: Arola & Mänttari 2013).



Kuva 4. Membraanien pidätyskyky (Kuva: Crittenden ym. 2012).

Ultrasuodatus on mekaaninen suodatusmenetelmä, jossa neste läpäisee huokoi-
sen kalvon. Kalvo on niin tiheä etteivät bakteerit ja virukset pysty kulkeutumaan
sen läpi. Ultrasuodatuksen huokoskoko on 0,001 – 0,04 μm ja suodatuspaine-
alue on 0,2 – 10 Bar (Arola & Mänttari 2013, 4).

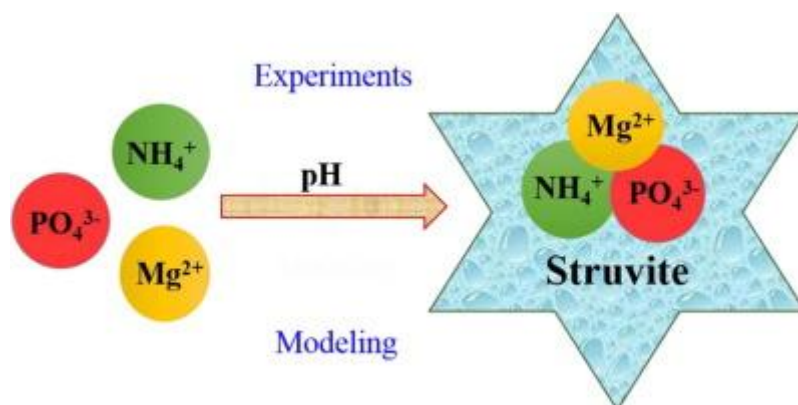
Käänteisosmoosissa liuosta voidaan johtaa puoliläpäisevän kalvon läpi paineen
avulla siten, että vesi virtaa väkevämmästä liuoksesta laimeampaan (NuWater
2017). Käänteisosmoosissa membraanin huokoskoko on noin 0,0001 μm ja suo-
datuspainealue 8-100 Bar (Arola & Mänttari 2013, 4).



Kuva 5. Osmoosi ja käänteisosmoosi (Kuva: NuWater. 2017).

2.5.5 Struviittisaostus

Struviittisaostus on menetelmä, jolla liuoksesta saadaan otettua typpeä ja fosforia talteen kiteyttämällä. Menetelmä on kemiallinen ja tapahtuu magnesiumoksidin avulla. Tärkeää prosessissa on liuoksen pH-arvo sekä lämpötila. Struviitti $[\text{Mg}(\text{K} \text{ NH}_4)(\text{PO}_4)\text{H}_2\text{O}]$ on koostumukseltaan kidemäinen ja se on liukenee heikosti veteen. (Uludag-Demirer 2005, 1 – 4.) Struviittisaostuksen jälkeen lannoite voidaan puristaa esimerkiksi rakeiksi tai pelleteiksi.



Kuva 6. Struviittisaostuksen periaate (Kuva: Uludag-Demirer 2005).

2.6 Aiemmat tutkimukset

Membraanierotusmenetelmiä ei ole käytetty aiemmin biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen tai rejektiveden käsittelyyn. Käytettävistä menetelmistä löytyy kuitenkin tutkimuksia, jotka käsittelevät membraanierotusmenetelmiä vedenpuhdistuksessa.

Lappeenrannan yliopiston v. 2013 julkaisemassa tutkimuksessa ”Membraanisuodatauksen hyödyntäminen kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa” Kimmo Arola ja Mika Mänttari esittelevät selkeästi membraanierotusmenetelmien käyttöä. Jäteveden puhdistus on myös prosessina melko lähellä biokaasulaitoksen rejektiveden konsentroitiprosessia. Tutkimus eroaa eniten tästä työstä siinä, että tutkimus oli kirjallisuuskatsaus, jolla pyrittiin selvittämään, soveltuvatko membraanierotusmenetelmät jätevedenpuhdistukseen. Tutkimuksen johtopäätöksenä pidettiin membraanierotusmenetelmiä täysin mahdollisina ja jopa kustannustehokkaina vaihtoehtoina jätevedenpuhdistukseen.

Suomen ympäristökeskuksen selvityksessä ”Paras käytössä oleva tekniikka (BAT) biokaasun tuotanto suomalaisessa ympäristössä” Markus Latvala kertoo kattavasti biokaasun tuotannosta. Tämän työn kanssa selvityksellä on yhtymä-

kohtia sikäli, että selvitys esittelee tyypillisiä mädätysjäännöksen käsittelymenetelmiä. Selvityksessä ei esitellä tässä opinnäytetyössä pääosassa olevaa konsentrintitekniikkaa, mutta työn avulla on mahdollista vertailla vaihtoehtoisia tekniikoita.

3 Lähtökohdat ja tarkoitus

BioKymppi Oy:n lähtökohta mädätysjäännöksen käsittelylle on, että ravinteet saadaan tehokkaasti kiertoon. BioKymppi Oy:n mädätysjäännös on hyödynnetty aiemminkin peltoviljelyssä. Konsentrintilaitteistojen tarkoituksena oli saada lannoitteiden kuljetuksesta ja levittämisestä kannattavampaa. BioKymppi Oy päätyi taloudellisten ja teknisten syiden vuoksi kokeilemaan uudenlaista Landco S.A:n kehittämää membraanierotukseen perustuvaa mädätysjäännöksen konsentrintiteknikkaa.

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka kyseiset laitteistot asennetaan ja otetaan käyttöön, kuinka laitteita käytetään sekä kuinka laitteita huolletaan ja pidetään kunnossa. Käytännön työssä selviävien havaintojen pohjalta tehtiin raportti (tämä opinnäytetyö). Tietoperustan tarkoitus ei ollut olla tavanomainen tutkimus, vaan tarkoituksena oli selventää opinnäytetyön lukijalle työn taustoja sekä laitteistojen merkitystä. Tarkoituksena oli myös esitellä tyypillisimpiä mädätysjäännöksen käsittelytekniikoita. Eniten pureuduttiin kuitenkin BioKymppi Oy:n käyttöön valikoituneen uudenlaisen mädätysjäännöksen käsittelytekniikan toimintaperiaatteisiin.

Toiminnallisessa osassa kerrotaan asennuksen ja käyttöönoton keskeisimmät vaiheet. Käyttöönoton ja myöhemmin tuotantokäytön tuoma laitteiston käyttökemus on koostettu Landco-moduulin käyttöohjeisiin (liite 1). Lisäksi laitteiden käyttöä havainnollistetaan esittelemällä laitteistojen käytöstä kerättyä dataa (liite 2). Tavoitteena oli, että työn avulla vastaavanlaisten laitteistojen mahdollinen asennus ja käyttöönotto onnistuvat tulevaisuudessa helposti uudelleen. Käyttöohjeesta oli tavoitteena tehdä selkeä mutta yksityiskohtainen.

Koska laitteet ovat prototyyppisiä, niissä ilmenee vielä paljon ongelmia. Opinnäytetyössä pyrittiin selvittämään näitä ongelmia ja löytämään niihin ratkaisuja. Lait-

teistojen kehittäminen jatkuu kuitenkin vielä opinnäytetyöprosessin jälkeenkin, joten kaikkea olennaista tietoa ei ehditty sisällyttää tähän työhön.

3.1 Opinnäytetyön tyyppi

Opinnäytetyö on tyypiltään toiminnallinen, joten perinteinen kirjallinen tutkimus jäi melko vähäiseen osaan. Isoin osa työstä on ollut käytännön työtä, kuten laitteistojen asennusta, laitteistoihin perehtymistä sekä niiden käyttöä. Opinnäytetyössä kuvaillaan merkittävimmät työvaiheet ja käyttöohjeessa esitellään laitteistojen käyttöä yksityiskohtaisesti. Käytännön näkökulmaa pyrittiin myös tuomaan esiin kuvien avulla.

3.2 Aiheen rajaus

Tietoperusta rajattiin esittelemään pintapuolisesti biokaasun tuotannon periaatteet, jotta lukijan olisi helpompi ymmärtää minkälaisessa toimintaympäristössä työ toteutettiin. Tietoperustassa määriteltiin aihepiirin keskeisiä käsitteitä. Tietoperustassa myös taustoiteettiin miksi mädätysjäännöstä ylipäättään käsitellään. Lisäksi esiteltiin yleisimpiä mädätysjäännöksen ja rejektiveden käsittelymenetelmiä. Tietoperustan lopuksi esiteltiin BioKymppi Oy:n biokaasulaitokselle asennettujen laitteiden toimintaperiaatteet.

Aiheen toiminnallinen osa rajattiin käsittelemään kyseisten erottelulaitteistojen asennusta, käytön analysointia ja käyttöohjeiden laatimista. Laitteiston varsinainen korjaaminen rajattiin aiheen ulkopuolelle. Huoltojen osalta keskityttiin vain säännöllisesti tehtäviin huoltotoimenpiteisiin. Opinnäytetyöstä iso osa pohjautui käytännön toteutukseen ja sen kuvaamiseen. Tärkeimpänä osana voidaan pitää Landco-moduulin käyttöohjeita (liite 1).

Käytännöllisestä osiosta rajattiin pois struviittisaostuslaitteiston sekä UASB-reaktorin asennus ja käyttö. Näitä laitteiston osia ei ehditty toimittaa Kiteelle opinnäytetyöprosessin aikana. Konsentrintilalaitteistoa voidaan käyttää ilman struviittisaostuslaitteita ja UASB-reaktoria. Työssä kuitenkin esiteltiin teoreettisesti sekä struviittisaostuksen, että UASB-reaktorin toimintaperiaatetta. Näin lukija pystyy paremmin hahmottamaan laitteistojen kokonaisuutta.

Työn alkuvaiheessa pohdittiin, olisiko hyvä laskea jonkinlaisia kannattavuuslaskelmia laitteistoista. BioKymppi Oy:llä on jo olemassa laitteistojen kokonaiskustannuksiin ja tuottavuuteen perustuva laskentamalli, joten kannattavuuslaskelmat eivät olleet tarpeen.

Laitteistojen asennuksen jälkeen näytti siltä, että laitteistot vaativat paljon huoltoa, lähinnä suodattimien pesua. Tässä vaiheessa mietittiin, pitäisikö laitteita varken optimoida jonkinlainen malli, kuinka usein esimerkiksi esisuodattimia on järkevää pestä. Laitteistojen kehittämisen ja kokeilujen aikana selvisi kuitenkin, ettei tällaiselle optimoinnille ole tarvetta. Ongelmia on edelleen suodattimien tukkeutumisen kanssa, mutta osoittautui, etteivät jatkuvat pesut auta tuotantoprosessissa, vaan syötteen laadun tulee olla parempaa. Kun syöte on riittävän hyvää, ei laitteita tarvitse pestä kuin harvoin määrääikaishuollon toimenpiteenä.

Aiheen rajausta tehdessä mietittiin, pitäisikö lannoitteen analysointi jättää pois työstä. Lannoitteen koostumuksen tutkiminen ja analysointi ei varsinaisesti ollut osa laitteistojen asennusta ja käyttöä. Työssä päätettiin kuitenkin käsitellä pintapuolisesti myös laitteistoihin liittyviä laboratorioanalyysseja. Analyysien esittely oli siksi perusteltua, että niiden kautta lukija voi ymmärtää paremmin laitteiston ongelmakohtia, sekä laitteistoista saatavaa hyötyä.

Laboratorioanalyysien lisäksi työhön otettiin vielä mukaan laitteistojen käytöstä kertovan datan analysointi. Datan analysointi oli osa tulosten tarkastelua, koska sen avulla voitiin esitellä millaiseen toimintakuntoon laitteistot saatiin opinnäytetyöprosessin aikana. Vaikkei tällainen analysointi varsinaisesti ollut osa laitteisto-

jen asennusta tai käyttöä, voidaan sen avulla havainnollistaa laitteiden toimintakykyä. Lisäksi laitteiden toiminnassa aiheutuvia ongelmia voidaan selvittää datan avulla. Kokonaistuotantoa ei tässä työssä arvioida, koska laitteistoissa on edelleen joitakin anturivikoja, jotka vääristävät dataa osittain. Esimerkiksi tuotetun konsentraatin kokonaismäärä ei ole luotettava, koska sitä mittaava virtausmittari toimii epäluotettavasti.

4 Toteutus

Työn toteutus oli pitkä ja hitaasti etenevä prosessi. Laitteistojen toimitusajat olivat pitkiä, koska laitteistojen jotkin osat olivat vielä suunnitteluasteella opinnäytetyö-prosessin aikana. Toteutuksen eri vaiheiden aikana on otettu kuvia ja kirjoitettu muistiinpanoja, jotka toimivat pohjana käytännön osion kuvaamisessa.

4.1 Esivalmistelut

Laitteistot ovat kooltaan melko isot, ja Biokympin tilat ovat jokseenkin rajalliset. Laitteistoja varten päätettiin laitoksen alahalliin rakentaa katonrajaan teräksestä ja vanerista tasot, joiden päälle laitteistot voitiin sijoittaa. Tasojen paikat täytyi suunnitella tarkasti, jotta ne eivät häiritsisi muuta toimintaa hallissa. Rakenteet tilattiin paikalliselta metallipajalta ja ne asennettiin paikoilleen syksyn 2016 aikana. Tasojen tukijalat asennettiin halliin pulttaamalla ne kiinni hallin betonilattiaan. Tasojen rungot koostuivat teräspalkeista, jotka pultattiin toisiinsa kiinni. Runkojen päälle pultattiin vanerilevyt.

4.2 Toimitus ja asennus

Laitteistot toimitettiin Kiteelle lokakuussa 2016. Laitetoimittajan periaatteena on, että laitteistot toimitetaan asiakkaalle moduuleina. Toimitus sisälsi kolme konttia: esisuodatuslaitteiston, ultrasuodatuslaitteiston ja käänteisosmoosilaitteistot. Moduulit nostettiin oikeille paikoilleen nosturiautolla ja kurottajalla.

Kun laitteistot olivat paikoillaan, täytyi niihin kytkeä vielä sähköt, vesijohdot ja paineilmaletkut. Lisäksi laitteistoiden välille tehtiin putkivedot nesteiden siirtämistä varten. Kytkennöissä kesti aikaa useita kuukausia, koska joitakin osia toimitettiin vielä jälkikäteen ja uusia varastosäiliöitä jouduttiin hankkimaan.

4.3 Testiajot ja käyttöönotto

Joulukuussa 2016 aloitettiin laitteiden testaus. Landco S.A. hoiti suurimman osan testeistä yhteistyössä BioKympin kanssa. Laitteistot olivat vielä keskeneräisiä, joten iso osa testeistä oli ohjelmistojen säätöä, antureiden kalibrointia ja turvarajojen optimoimista. Doranova Oy hoiti kemikaalien hankkimisen laitteistoja varten. Membraanien pesua varten hankittiin suolahappoa sekä emäspesuainetta. Lisäksi laitteistoilla käsiteltävän liuoksen pH-arvon tasapainottamiseksi hankittiin rikkihappoa.

Joulukuun aikana tehtiin joitakin saostuskokeita, joiden avulla yritettiin selvittää, saisiko rejektiveden orgaanisen aineksen saostettua tehokkaasti erilleen muusta rejektivedestä. Saostuksessa käytettiin jätevedenpuhdistamolta hankittuja polyalumiinikloridia ja ferrosulfaattia. Rejektivesi saostui kyllä molemmilla, mutta orgaanista ainetta jäi silti liikaa. Päädyttiin siihen tulokseen, että ilman suuria investointeja ei prosessista tulevaa rejektivettä saa otettua konsentrointiin sellaisenaan, vaan rejektivesi täytyy jälkimädättää. Käytännössä jälkimädätys tapahtuu Kiteellä loppuvarastosäiliöissä. Ongelmana on jälkimädätyksen hitaus, sillä kestää noin puoli vuotta, että rejektivedestä poistuu riittävästi orgaanista ainetta.

Testien aikana ilmeni, että laitteistojen alle oli tehtävä jonkinlaiset vedenkeruurännit ja viemäroinnit. Esimerkiksi suodattimien pesun yhteydessä vettä valui muuten suuria määriä laitteistojen alla oleville hyllyille. Laitteistojen alle tehtiin joulukuun aikana pellistä altaat, joihin laitteistoilta putoava vesi valuu. Altaista kytkettiin putket lattiakaivoon, josta vesi kulkeutuu biokaasulaitoksen prosessiin. Mikäli altaat ja viemärit olisi tehty jo ennen laitteistojen paikalleen asennusta, olisi työ onnistunut paljon helpommin. Altaiden asennus jälkikäteen aiheutti ongelmia, koska kontteja jouduttiin nostamaan ja isot peltialtaat oli hankala asentaa ahtaaseen väliin. Altaita jouduttiin myös tiivistämään vielä jälkikäteen, koska haastavis-

ta asennusolosuhteista johtuen jotkin altaiden saumoista vuotivat asennuksen jälkeen.

Tammikuussa saatiin viimeiset tarvittavat putkiliitokset tehtyä ja laitteistoja päästiin kokeilemaan kokonaisuutena. Esisuodatuslaitteistoon asennettiin ilma- ja vesijohdot automaattista pesutoimintoa varten. Toiseen rejektivesisäiliöön asennettiin lämmitysputket, jotta syöte on riittävän lämmintä talvellakin. Kesällä putkia voidaan käyttää myös jäähdyttimenä.

Helmikuun aikana tehtiin joitakin putkien eristyksiä ja kokeiltiin erilaisia menetelmiä rejektiveden laadun parantamiseksi. Prosessiin lisättiin suodatinverkko jolla saataisiin osa orgaanisesta aineesta pois jo ennen esisuodatusta. Verkko tukkeutui hetkessä ja osoittautui liian työlääksi pitää puhtaana. Ruuvikuivaimelle kokeiltiin myös asentaa tiheämpi 0,5 mm seulaverkon sijasta 0,25 mm seulaverkko, mutta rejektiveden laatu ei parantunut. Ongelmia sen sijaan aiheutui, koska isompi osa mädätysjäännöksestä ei läpäissyt seulaverkkoa, vaan kuivajakeesta tuli kosteampaa kuin aiemmin.



Kuva 7. Suodatinverkkokokeilu (Kuva: Otto Summala).

Rejektiveden esikäsittelyn suhteen toimivimmaksi ratkaisuksi havaittiin, että noin puoli vuotta vanha loppuvarastosäiliössä jälkimädäntynyt rejektivesi ajetaan vielä kerran ruuvikuivaimen läpi, jolloin siitä saadaan roskat pois. Tällainen rejektivesi osoittautui riittävän hyväksi syötteenä konsentrointilaitteistoille. Ongelmana tällaisessa menettelyssä on, että rejektivettä joudutaan tällöin kuljettamaan rekalla edestakaisin ja rejektivesi täytyy pumpata uppopumpulla ruuvikuivaimen läpi käyttämällä ruuvia käsikäytöllä. Tämä vaatii jatkuvaa valvontaa. Näin ollen työn määrä ja kuljetuksen osuus kasvaa liikaa. Testivaiheessa päätettiin kuitenkin toimia vielä tällä tavalla.

Maaliskuun alussa asetettiin laitteistojen alapuolelle rikkihapposäiliö sekä varoallas hapolle. Happosäiliö kytkettiin laitteistoon. Käänteisosmoosilaitteistojen testiajojen aikana sattui tapaturma, kun jokin venttiili oli jäänyt kiinni ja putkistoon pääsi niin kova ylipaine, että yksi putki hajosi kappaleiksi. Muita vahinkoja ei ta-

pauksesta seurannut. Tapaturman seurauksena laitteistoihin asennettiin yli-paineventtiilit, jotka vastaavassa tilanteessa päästävät paineen vuotamaan letkuista hallitusti ulos. Maaliskuun aikana laitteistoista jouduttiin myös vaihtamaan joitakin rautaosia muovisiin tai ruostumattomaan teräkseen, koska osat olivat syöpyneet.

Maaliskuun lopulla saatiin laitteisto struviittisaostuslaitteistoa ja UASB-reaktoria lukuun ottamatta käyttövalmiiksi. Kokonaisuutta optimoitiin vielä muutama päivä. Samalla Landco S.A. hoiti viimeisen perehdytyksen Doranovan ja BioKympin edustajille. Aiemmin perehdytystä oli tullut jo pienempinä osina laitteistojen muiden testiajojen ja rakentamisen yhteydessä.

Huhtikuun alussa alkoi konsentraatin tuotanto viljelykokeita varten. Aluksi mukana olivat sekä BioKympin että Doranovan edustaja, mutta ensimmäisen viikon jälkeen laitteistojen käytöstä vastasi BioKympin oma henkilöstö. Ongelmia oli jonkin verran antureiden toimivuuden kanssa. Isoimmat ongelmat olivat silti rejektiveden laadussa. Tässä vaiheessa päätettiin laitteistoja täydentämään hankkia syksyn 2017 aikana UASB-reaktori, jolla jälkimädätyksen pitäisi onnistua nopeasti. Ilman UASB-reaktoriakin lannoitekonsentraattia saatiin tuotetuksi riittävästi viljelykokeita varten.

Aluksi konsentraatti varastoitiin IBC-kontteihin, mutta tuotetun konsentraatin määrän kasvaessa jouduttiin ottamaan käyttöön isompi konsentraatin varastosäiliö. Järjestely tehtiin siten, että konsentraatti kulkeutuu vapaavirtauksena IBC-konttiin, joka on käänteisosmoosilaitteiston lähellä. Kontista kytkettiin putki ulos isoon konsentraattisäiliöön ja putkilinjaan asennettiin pumppu, jolla konsentraatti siirretään isoon säiliöön kontin täytyttyä. Kontin täyttyminen vie noin työpäivän verran. Tyhjentämisessä kestää noin 15 minuuttia.



Kuva 8. Konsentraattisäiliön siirtäminen paikoilleen (Kuva: Otto Summala).

5 Tulosten tarkastelu

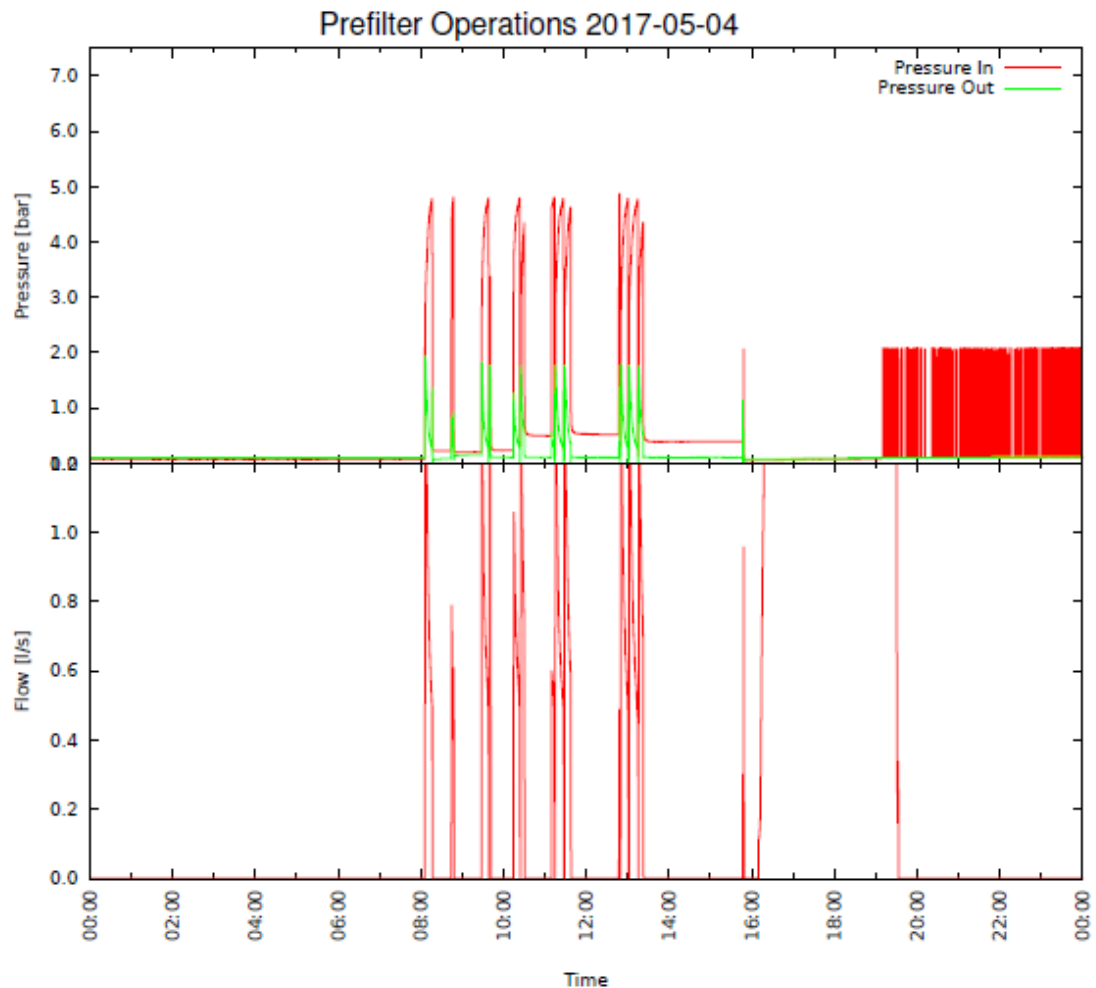
5.1 Asennus ja käyttöönotto

Laitteistojen asennus sujui melko suoraviivaisesti. Työtä oli toki paljon, mutta laitteiden asennus koostui lähinnä yksinkertaisista helpoista töistä. Siksi asennuksen kuvauskin on tässä työssä suppeahko. Ei liene tarpeellista selittää vaihe vaiheelta, kuinka jonkin telineen paikka on mitattu, tolppa pultattu lattiaan tai kuinka putket on liitetty toisiinsa. Asennusosiossa kerrotaan kuitenkin pääpiirteissään mitä työvaiheita asennus on sisältänyt, ja asennuksessa ilmenneet ongelmat esitellään.

Haastavin osa projektia on ollut laitteiden käyttöönotto. Laitteistojen käytössä oli jo itsessään paljon opettelemista. Eniten haasteita aiheuttivat kuitenkin tilanteet, joissa laitteistot eivät toimineet niin kuin pitäisi. Tällöin saattoi vian etsinnässä mennä kauankin aikaa. Laitteistot saatiin kuitenkin käyttöön, vaikka osa käytön ongelmista on edelleen ratkaisematta. Liitteessä 1 esitellään laitteistojen käyttöä ja ongelmia yksityiskohtaisesti.

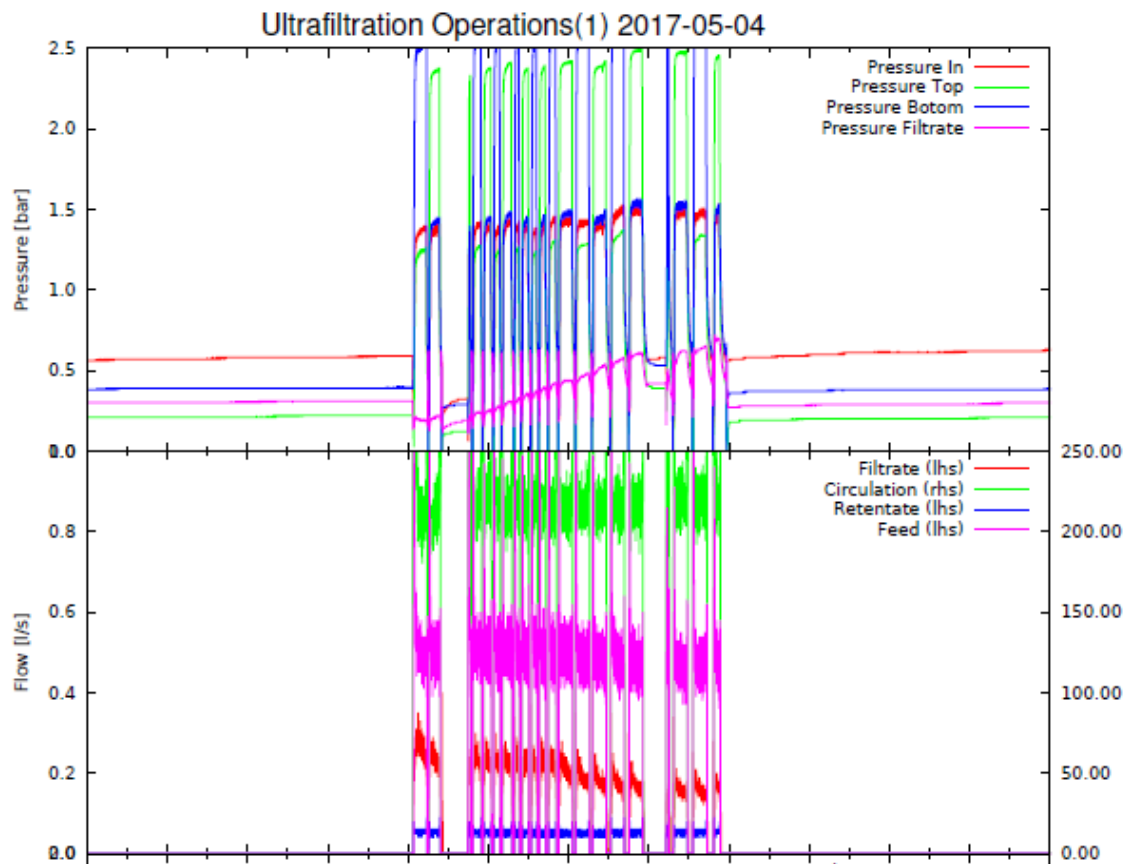
5.2 Käytön analysointi

Laitteistojen käyttöönoton jälkeen on käytön analysointi ollut jatkuva osa toiminnan ja tuotannon arviointia. Laitteistoja käytettäessä voidaan laitteiden toimintaa analysoida datan avulla. Laitteistoista kerätään dataa eri antureilta ja mittareilta. Kaikki data tallentuu verkkoon, ja haluttaessa voidaan automaattisesti laittaa sähköpostiin tulemaan dataa laitteiden käytöstä päivittäin. Ohessa näytetään muutamia esimerkkejä saatavasta datasta sekä sen tulkinnasta. Lisäksi liitteessä 2 on nähtävissä koko päivän ajalta kerätty pdf-formaatista kopioitu data.



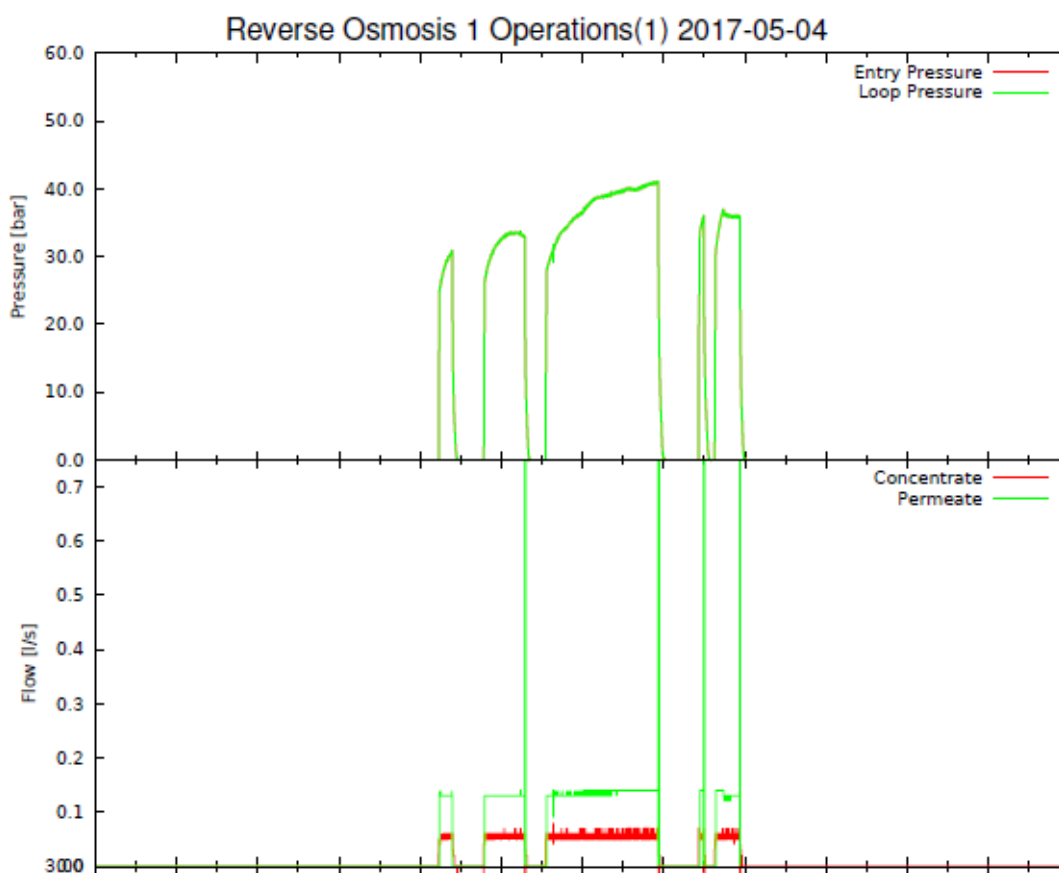
Kuvio 2. Esisuodatuslaitteiston paine ja virtaus

Kuvion 2 perusteella voidaan päätellä, että esisuodatuslaitteisto on toiminut ongelmitta. Virtaus on ollut niin kova, että laitteiston ei ole tarvinnut olla päällä kuin lyhyitä aikoja kerrallaan. Toisaalta suodattimille menevä paine on ollut toiminnan aikana melko kova (pressure in), joten syöte on ollut luultavasti melko paksua. Laitteisto on tehnyt muutamia vastapesuja noin klo 11.30 ja klo 13. Vastapesut huomataan sisään menevän paineiden sahalaitaliikkeestä.



Kuvio 3. Ultrasuodatuslaitteiston paine ja virtaus

Kuvion 3 perusteella voidaan tehdä muutamia päätelmiä ultrasuodatuslaitteiston toiminnasta. Ainoat selvät muutokset jotka havaitaan päivän käytön aikana, ovat suodatetun liuoksen paineen kohoaminen (pressure filtrate) sekä suodatetun liuoksen virtauksen hidastuminen (filtrate (lhs)). Koska membraanien paineet (pressure top ja pressure bottom) ovat pysyneet koko päivän lähes samana, voidaan päätellä, että virtauksen väheneminen johtuu jostain muusta kuin membraanien tukkeutumisesta. Suodatetun nesteen paineen kohoaminen tarkoittaa tavallisesti, että membraanien jälkeinen kangassuodatin on tukkeutumassa. Niin oli tässäkin tapauksessa.



Kuvio 4. Ensimmäisen käänteisosmoosilaitteiston paine ja virtaus

Kuvion 4 perusteella voidaan havaita, että RO1-kalvo on alkanut hiljalleen tukkeutumaan. Tämä on nähtävissä paineen kohoamisena. Lopuksi paine on pudonnut hieman, eikä se ole lähtenyt enää nousuun. Tämä viittaa siihen, että ilta-päivällä laitteistoon on tehty vesihuuhtelu. Virtauksien osalta ei voida tässä tapauksessa tehdä tarkkoja johtopäätöksiä, koska virtausmittarit eivät näyttäneet oikeita lukemia.

5.3 Tilanne syyskuussa 2017

Konsentrintilaitteistojen tilanne oli syyskuussa 2017 vielä hieman epävarma. Laitteistoihin odotettiin vielä täydennykseksi struviittisaostuslaitteistoa sekä UASB-reaktoria. Muilta osin laitteistot oli todettu toimiviksi, ja niillä oli jo pystytty tuottamaan lannoitekonsentraattia erilaisia viljelykokeita varten.

Tuotanto oli kuitenkin vielä melko ongelmallista. Laitteet toimivat hyvin, vain jos syötettävän rejektiveden orgaanisen aineen pitoisuus on riittävän alhainen. Käytännössä rejektivettä joudutaan jälkimädättämään pitkiä aikoja ennen konsentroitua. Ihannetilanne olisi, että prosessi saataisiin toimimaan niin, että suoraan biokaasuprosessista tuleva rejektivesi voitaisiin ottaa konsentroitavaksi. UASB-reaktorin toivotaan auttavan asiassa, mutta sen toiminnasta ei voi vielä mennä takuuseen. Luultavasti biokaasureaktorin viipymäaikaa olisi myös kasvatettava, jotta orgaanisen aineksen pitoisuus saataisiin riittävän alhaiseksi.



Kuva 9. Orgaaninen aine esisuodattimessa (Kuva: Otto Summala).

5.4 Laboratorioanalyysit

Laitteistoihin liittyen tehtiin paljon erilaisia laboratorioanalyysseja. Tässä esiteltävissä erittelyssä analysoitiin neljän eri näytteen ravinteita, kuiva-ainepitoisuutta

sekä kemiallista hapenkulutusta (COD). Analyyseja tarkastelemalla voitiin havaita selkeitä eroja näytteiden välillä. Kokeita pitäisi tehdä kuitenkin huomattavasti enemmän, jotta tuloksia voitaisiin pitää täysin luotettavina ja vertailukelpoisina. Tämän työn kannalta tulosten oikeellisuus ja tarkkuus eivät olleet kovin tärkeitä. Oleellista oli, että tuloksia voitiin pitää suuntaa antavina.

Laitteistojen toimivuuden kannalta ehkäpä olennaisin analyysi on COD-analyysi. COD-analyysillä mitataan kemiallista hapenkulutusta. Käytännössä se kertoo kuinka paljon orgaanista ainetta näytteessä on. COD-analyysin lukema ei itsessään kuitenkaan kerro orgaanisen aineen määrää, mutta mitä suurempi COD-arvo on, sitä enemmän näytteessä on orgaanista ainetta. Laitteistoja käyttäessä havaittiin, että jos, COD-arvo alkaa nousta yli 20 mg / g tasosta, alkaa konsentroidin jokaisessa vaiheessa ilmetä ongelmia.

Konsentroidin tehokkuutta voidaan arvioida parhaiten jälkikäteen liukoisen typen määrää tarkastelemalla. Liukoista typpeä ei juurikaan poisteta prosessista suodattujen seurauksena. Siispä sen määrän perusteella voidaan melko tarkasti arvioida paljonko konsentroidilla on saatu vettä poistettua lannoitteesta.

Esimerkki: Laitteistoihin ajetaan sisään jälkimädätettyä rejektivettä, jossa liukoista typpeä on 2,8 kg / tonni. Ultrasuodatuksen jälkeen liukoista typpeä on jäljellä vielä 2,4 kg / tonni. Suodatuksissa liukoista typpeä hävisi siis 0,4 kg / tonni. Konsentraatissa liukoista typpeä on 8,1 kg / tonni. Liukoisen typen pitoisuus on siis lähes kolminkertaistunut. Karkeasti voidaan ajatella, että vettä on poistettu noin kaksi kolmasosaa. Esimerkissä käytetyt analyysistä otetut luvut ovat taulukon 1 laboratorioanalyysistä. Ne eivät kuitenkaan kerro totuutta, laitteistojen tehokkuudesta, sillä optimaalisesti toimiessaan laitteistoilla poistetaan vettä lannoitteesta noin 70 - 80 %. Kyseisten analyysien konsentraatti on jouduttu membraanien tukkeutumisen vuoksi ajamaan ottamaan talteen hieman tarkoitettua laimeampaa.

Taulukko 1. Laboratorioanalyysit

	Yksikkö	Tuore re- jektivesi	Jälkimädätetty rejektivesi	Ultrasuodatettu rejektivesi	Konsentraatti
Liukoinen typpi					
Typpi (N), liukoinen	g/kg ka	85.1	168	413	168
Typpi (N)	kg/t	4	2.8	2.4	8.1
Typpi (N)	kg/m3	4.1	2.9	2.4	8.4
Kokonaistyppe					
Typpi (N), kokonaispitoisuus	g/kg ka	118	205	482	184
Typpi (N)	($\pm 1,1$) kg/t	5.6	3.5	2.8	8.9
Typpi (N)	kg/m3	5.7	3.5	2.8	9.2
Fosfori (P)					
	(± 2) g/kg				
Fosfori (P), kokonaispitoisuus	ka	12	15	9.7	7.3
Fosfori (P)	kg/t	0.58	0.26	0.06	0.36
Fosfori (P)	kg/m3	0.59	0.26	0.06	0.37
Kalium (K)					
	(± 6) g/kg				
Kalium (K), kokonaispitoisuus	ka	29	50	160	94
Kalium (K)	kg/t	1.4	0.85	0.94	4.6
Kalium (K)	kg/m3	1.4	0.86	0.95	4.7
Kuiva-aine ja kosteus					
Kuiva-aine	%	4.7	1.7	0.6	4.8
Kosteus	%	95.3	98.3	99.4	95.2
Tilavuuspaino					
Tilavuuspaino	kg/m3	1000	1000	1000	1000
Kemiallinen hapenkulutus					
COD	mg/g	56	20	4	12

5.5 Landco-moduulin käyttöohjeet

Työn raportoinnin tärkein osa oli Landco-moduulin käyttöohjeiden laatiminen (liite 1). Käyttöohjeiden lähtökohtana oli, että ohjeet ovat niin yksityiskohtaiset, että niiden avulla laitteistoja voi käyttää jo lyhyen perehdytyksen jälkeen. Ongelmana oli käyttöohjeita tehdessä saada valtava määrä informaatiota riittävän tiiviiseen ja luettavaan muotoon. Käyttöohjeessa on käytetty paljon kuvia joilla havainnolliste-

taan asioita. Lisäksi selkeyttä on pyritty lisäämään jäsentelemällä pienetkin asiat omiksi kokonaisuuksiksi. Näin laitteita käyttäessä on helppo etsiä sisällysluettelosta tarvittava asiayhteys.

6 Pohdinta

Opinnäytetyön alkuperäisenä tarkoituksena oli selvittää, kuinka kyseiset laitteistot asennetaan ja otetaan käyttöön, kuinka laitteita käytetään sekä kuinka laitteita huolletaan ja pidetään kunnossa. Tavoitteiden toteutus jäi sikäli vajaaksi, että laitteistoja ei voitu kaikilta osin asentaa eikä ottaa käyttöön opinnäytetyöprosessin aikana. Tämä johtui laitteiden valmistuksen ja toimitusten viivästymisistä sekä uuden prosessivaiheen lisäämisestä jälkikäteen (UASB-reaktori). Opinnäytetyön kannalta tämä ei ollut kuitenkaan merkittävä haitta, koska nykyiset laitteistot saatiin asennettua ja otettua käyttöön ilman puuttuvia osiakin. Työn määrän kannalta tämä saattoi olla jopa parempi, sillä opinnäytetyö olisi saattanut paisua liian laajaksi ja työlääksi, mikäli työhön olisi lisätty vielä struviittisaostuslaitteiston sekä UASB-reaktorin asennus ja käyttö.

Asennus sujui onnistuneesti ja käyttöönotto onnistui sikäli hyvin, että käyttöä pystyttiin havainnoimaan riittävästi. Parannettavaa jäi etenkin asennus ja käyttöönotto vaiheiden dokumentoinnista. Jälkikäteen ajateltuna on helppo todeta, että etenkin asennusvaiheessa olisi pitänyt ottaa paljon kuvia ja pitää tarkkaa työpäiväkirjaa. Huonon dokumentoinnin vuoksi asennusvaiheen raportoinnista ei tullut riittävän yksityiskohtaista. Havaintojen pohjalta oli kuitenkin mahdollista laatia Landco-moduulin käyttöohjeet. Käyttöohjeet on tarkoitettu jokapäiväisen käytön tueksi. Käyttöohjeille ei ole vielä ollut kuitenkaan niin paljon tarvetta, että niiden toimivuutta voisi vielä tässä vaiheessa arvioida. Jatkossa ilmenee varmasti käyttöohjeisiin lisättäviä täydennyksiä ja korjattavia asioita.

Kokonaisuutena voidaan todeta opinnäytetyön toteutuneen tavoitteisiin nähden hyvin. Tämänkaltaisten pilottihankkeiden osalta ei voida olettaa, että muutamassa kuukaudessa päästäisiin niin hyvään tilanteeseen, ettei kehitettävää olisi. Laitteistojen käytöstä on jo saatu paljon kokemusta ja laboratorioanalyysseja, - ja viljelykokeita on jo pystytty suorittamaan.

Suhteellisen hyvin toteutuneesta asennus- ja käyttöönottovaiheesta huolimatta laitteistojen käyttöön liittyy vielä paljon epävarmuustekijöitä. Suurin niistä on tietysti se, saadaanko laitteille tuotettua riittävän tehokkaasti rejektivettä, joka sisältää vain vähän orgaanista ainetta. Tämä vaikuttaa olevan ehdoton edellytys sille, että laitteilla voidaan järkevillä kustannuksilla ja työmäärällä käsitellä rejektivettä. Monien biokaasulaitosten prosessiin Landco-moduulin jonkinlainen muunnelma olisi luultavasti erinomainen ratkaisu. Tarvittavat toiminnot riippuvat kuitenkin paljon mädätysjäännöksen laadusta ja sen käsittelyn päämäärästä.

BioKymppin laitoksella tarvitaan kuitenkin vielä toimenpiteitä, ennen kuin laitteistot saadaan teknisesti toimimaan riittävän tehokkaasti tuotantokäytössä. UASB-reaktorin käyttöönoton jälkeen nähdään vasta todella, onko Kiteen biokaasulaitoksella kyseisiä konsentrintilaitteita järkevää käyttää ja kehittää jatkossa.

Opinnäytetyön tekijän näkökulmasta koko opinnäytetyöprosessilla on ollut ammattilliseen kehitykseen valtavan suuri merkitys. Opinnäytetyön aikana on työskennelty kansainvälisten toimijoiden kanssa, mikä on avartanut näkemyksiä ympäristöinsinöörin työnkuvasta. Lisäksi tuotekehitystyö on ollut mielekästä ja opettavaista. Suuri kiitos kuuluu BioKymppi Oy:lle, joka on toimeksiantajana antanut paljon vastuuta ja mahdollisuuden etsiä laitteistojen ongelmiin ratkaisuja myös itsenäisesti.

Työlle on käyttöä varmasti tulevaisuudessa. Käyttöohjeet ovat jo BioKymppin käytössä ja työ on varmasti hyödyllinen, mikäli laitteistoja otetaan käyttöön muualla. Jatkotutkimuksien kannalta työ antaa hyvän pohjan, jota voi tarvittaessa laajentaa.

Jatkotutkimusta tullaan työhön liittyen tekemään. Jatkotutkimuksena olisi esimerkiksi hyvä kuvata struviittisaostuslaitteiston ja UASB-reaktorin asennus ja käyttöönotto sekä laatia myös niille käyttöohjeet. Lisäksi laitteistoilla tuotetulla lannoitekonsentraatilla on jo tehty viljelykokeita ja tuloksia tutkitaan. Lannoitteiden osalta tutkimusta tullaan tekemään vielä paljon (mm. kasvihuoneviljely).

Lähteet

- Ang, H., Chong, S., Kayaap, A., & Sen, T. 2012. The performance enhancements of upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactors for domestic sludge treatment – A State-of-the-art review. *Water Research* 46 (11), 3434 – 3470.
- Arola, K. & Mänttari, M. 2013. Membraanisuodatuksen hyödyntäminen kunnallisessa jätevedenpuhdistuksessa, Case: Parikkalan Särkisalmen jätevedenpuhdistamo. www.parikkala.fi/loader.aspx?id=c564a7fe-a069-48c1-8b49-51dfa7a61832. 12.9.2017.
- BioKymppi Oy, Prosessi, BioKymppi Oy
<http://www.bio10.fi/prosessi/>. 28.11.2017
- Crittenden, J., Hand, D., Howe, J., Tchobanoglous, G., Trussell, R. 2012. *MWH's Water Treatment: Principles and Design*. Hoboken: John Wiley & Sons.
- Huittinen, J. 2014. Ravinnepitoisen teollisen jäteveden tuotteistaminen. Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Kemiantekniikka. Diplomityö.
<http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe2014120350378>. 12.9.2017.
- Latvala, M. 2009. Paras käytössä oleva tekniikka (BAT): Biokaasun tuotanto suomalaisessa toimintaympäristössä. *Suomen ympäristö: 24/2009*: 49 – 53, 55 – 57.
- Motiva Oy. 2013. Biokaasun tuotanto maatilalla.
https://www.motiva.fi/files/6958/Biokaasun_tuotanto_maatilalla.pdf. 12.9.2017.
- NuWater, Introduction Reverse Osmosis, NuWater
http://www.nuwaterglobal.com/wp-content/uploads/2012/12/NW_ReverseOsmosis.pdf. 27.2.2017.
- Torvinen, O. 2016. Pilot-mittakaavan UASB-laitteiston testaus ja ylösajo Savon Sellun lauhdevedellä. Savonia ammattikorkeakoulu. Ympäristötekniikan koulutusohjelma. Opinnäytetyö. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-201605178285>. 12.9.2017.
- Uludag-Demirer, S. 2005. Ammonia removal from anaerobically digested dairy manure by struvite precipitation. *Process Biochemistry* 40 (12), 3667 - 3674.

Landco-moduulin käyttöohjeet

Sisällysluettelo

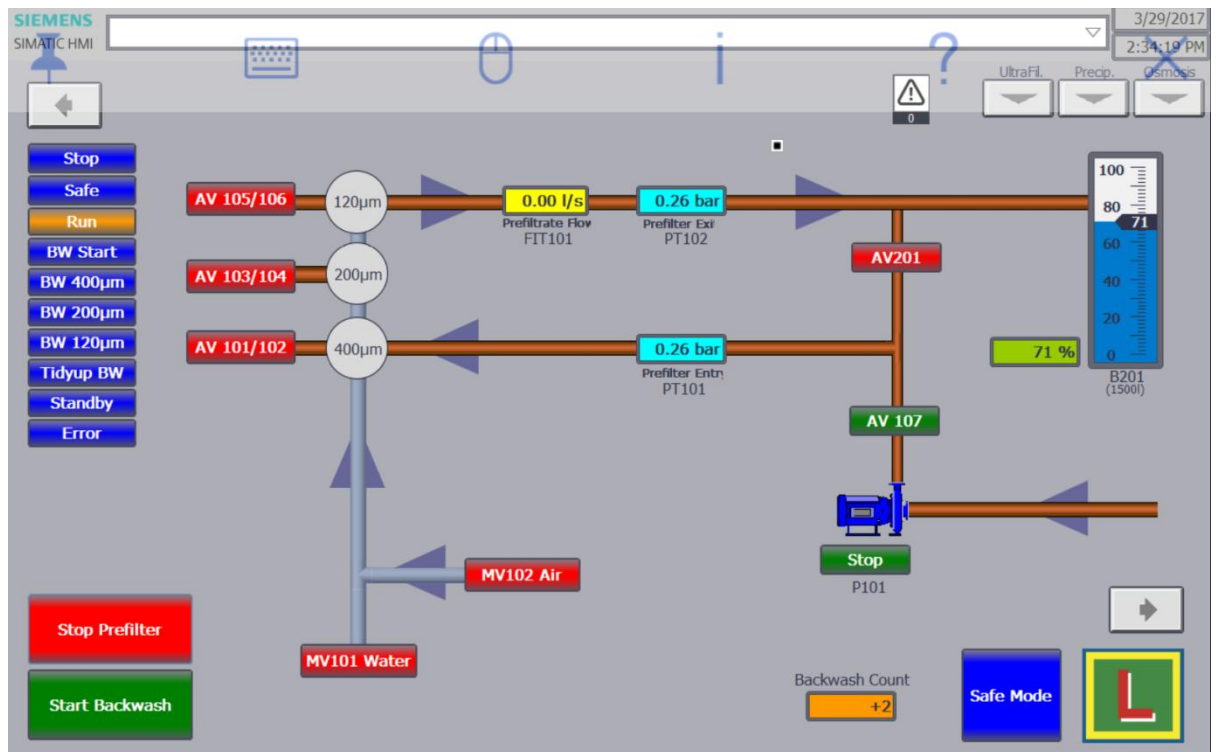
1 Yleistä tietoa laitteista	3
2. Esisuodatus (Azud)	4
2.1. Käyttö automaattisesti	5
2.2. Käyttö manuaalisesti	5
2.3. Mahdollisia ongelmatilanteita	6
2.3.1. Suodattimien tukkeutuminen	6
2.3.2. Pumpun tukkeutuminen	7
2.3.3. Virtausmittarin kuivuminen	7
3. Ultrasuodatus (UF)	8
3.1. Käyttö automaattisesti	10
3.2. Käyttö manuaalisesti	10
3.3. Putkiston tyhjennys	10
3.4. Putkiston täyttö	11
3.5. Mahdollisia ongelmatilanteita	11
3.5.1. Membraanien tukkeutuminen	11
3.5.2. Ultrasuodattimen jälkeisen kangassuodattimen tukkeutuminen	11
3.5.3. Membraanien ylikuumeneminen	13
4. Käänteisosmoosi 1 (RO1)	14
4.1. Käyttö automaattisesti	16
4.2. Käyttö manuaalisesti	17
4.3. Mahdollisia ongelmatilanteita	18
4.3.1. Liian pieni konsentraatin tai permeaatin virtaus	18
4.3.2. Membraanin ylipaine	18
4.3.3. Membraanin ylikuumeneminen	18
4.3.4. B301 jälkeisen kangassuodattimen tukkeutuminen	18
5. Käänteisosmoosi 2 (RO2)	20
5.1. Käyttö automaattisesti	20
5.2. Käyttö manuaalisesti	21
5.3. Mahdollisia ongelmatilanteita	21
6. Membraanien pesu	22
6.1. RO1	22
6.2. UF	24
7. Tuotannon pysäyttäminen	25

1 Yleistä tietoa laitteista

Landco-moduuli on biokaasulaitoksen mädätysjäännöksen käsittelyyn tarkoitettu laitteisto, jolla saadaan ravinteet tiiviimpään muotoon. Lisäksi laitteistoilla saadaan mädätysjäännöksestä puhdasta vettä.

Laitteiston käyttö koostuu neljästä vaiheesta: esisuodatuksesta (Azud), ultrasuodatuksesta (UF) ja kahdesta käänteisosmoosista (RO1 ja RO2). Kutakin vaihetta voidaan käyttää automaattisesti tai manuaalisesti.

2. Esisuodatus (Azud)



Kuva 1. Esisuodatuksen ohjaus

Esisuodatuksen tarkoituksena on poistaa suurimmat partikkelit suodatettavasta liuoksesta. Esisuodatus koostuu kolmesta suodattimesta, joiden läpäisevyydet ovat 400 µm, 200 µm ja 120 µm. Esisuodatuksessa varastosäiliöstä pumpataan neste suodattimien läpi B201-säiliöön. Suodattimien tukkeutuessa automatiikka pesee suodattimet vedellä ja paineilmalla. Automaattipesua kutsutaan vasta-pesuksi.

Ennen aloitusta täytyy varmistaa, että käsiventtiilit säiliön ja suodatuslaitteiston välillä ovat auki. Lisäksi Vesijohdon ja ilmanpaineletkun hanojen on oltava auki.

2.1 Käyttö automaattisesti

Esisuodatuksen automaattiajo käynnistyy painamalla Start Prefilter -painiketta. Mikäli suodattimet tukkeutuvat automaattiajon aikana, aloittaa laitteisto automaattisesti vastapesun eli Backwash-toiminnon. Näytön oikeassa alareunassa sijaitsevasta nuolesta päästään säätämään vastapesuun vaikuttavia parametreja. Parametreja muuttamalla voidaan säätää mm. vastapesun määrää kullekin suodattimelle, tai missä virtaamassa tai paineessa vastapesu aloitetaan. Kun täytettävä säiliö (B201) on täynnä, pysähtyy esisuodatus automaattisesti. Laitteisto voidaan pysäyttää painamalla joko Stop Prefilter - tai Safe Mode -painiketta. Start Backwash -painikkeesta voidaan aloittaa ylimääräinen vastapesu. Ylimääräisille vastapesuille ei tavallisesti ole tarvetta, mutta aina tuotannon pysähtyessä yli 12 tunniksi kannattaa sellainen sellainen tehdä. Muutoin lika saattaa kuivua kiinni suodattimiin.

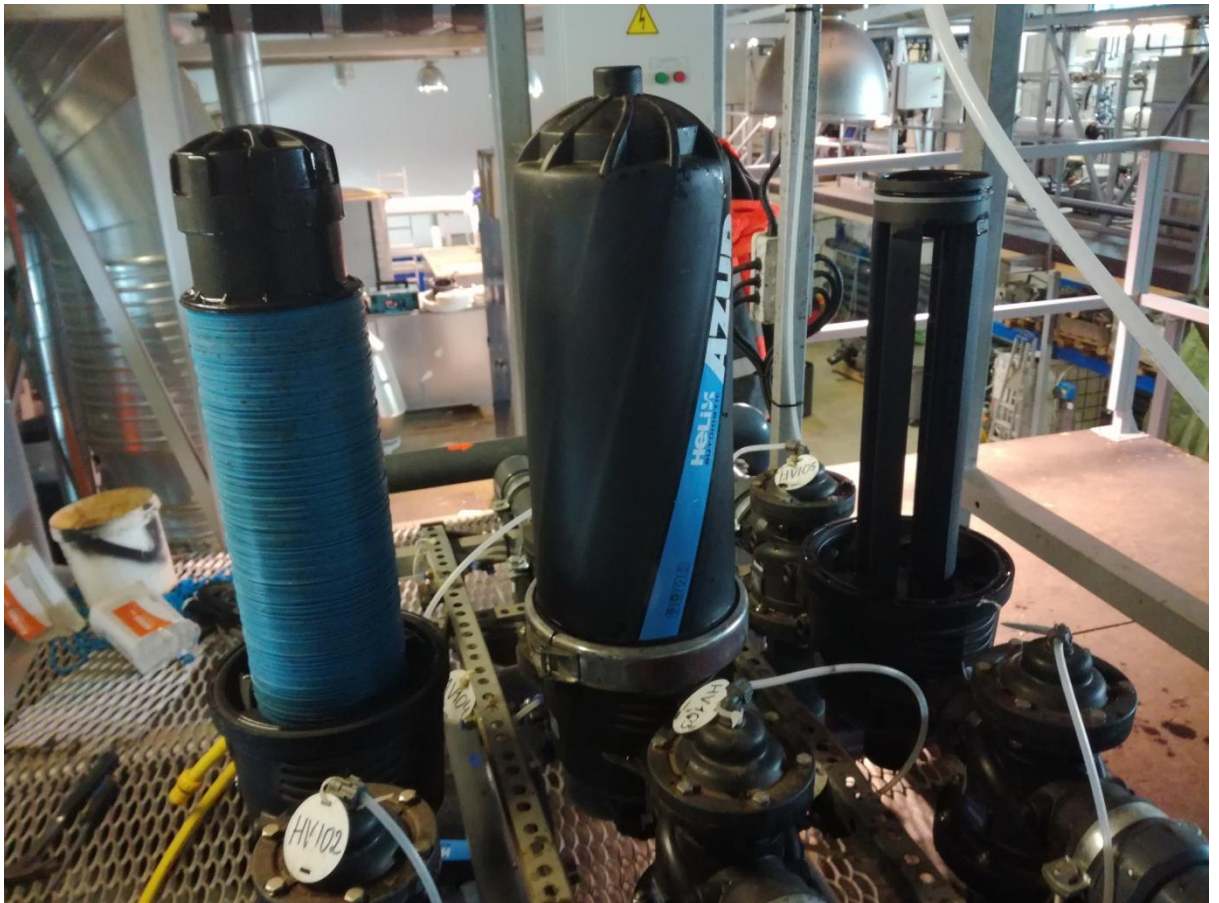
2.2 Käyttö manuaalisesti

Esisuodatuksen käyttö manuaalisesti vaatii tarkkailua. Ajo tapahtuu kosketusnäytöltä siten, että avataan AV107 -venttiili ja hetken kuluttua käynnistetään P101-pumppu. Kun suodoksen virtaus alkaa selvästi vähentyä (FIT101) tai suodattimille menevä paine (PT101) alkavaa kasvaa selvästi, suoritetaan vastapesu. Ennen vastapesua täytyy P101 ja AV107 sulkea. Tämän jälkeen avataan vesijohdon venttiili MV101 ja ensimmäisen suodattimen venttiilit (AV101/102). Lopuksi käytetään ilmanpaineventtiiliä (MV102) auki muutamia kertoja. Sama toistetaan vuorotellen kaikille suodattimille.

2.3 Mahdollisia ongelmatilanteita

2.3.1 Suodattimien tukkeutuminen

Toisinaan laitteistolle syötettävä rejektivesi voi olla liian huonolaatuista, jolloin suodattimet saattavat tukkeutua niin paljon, ettei vastapesusta ole apua. Tällöin pitää suodattimien kuvut avata ja suodatinrenkaat pestään. Ennen suodattimien avaamista täytyy varmistaa, ettei järjestelmässä ole painetta. Paine saadaan tarvittaessa poistettua avaamalla venttiilit AV101 ja AV102 hetkeksi. Sen jälkeen avataan kunkin kuvun pohjatulppa ja odotetaan, että neste valuu ulos. Seuraavaksi irrotetaan kupu ja kierretään suodatinrenkaiden päällä oleva pidike auki. Renkaat nostetaan pois ja pestään harjan avulla esimerkiksi vesisaavissa. Suodattimet kootaan käänteisessä järjestyksessä.



Kuva 2. Esisuodattimet osittain avattuna, kiinni ja kokonaan avattuna

2.3.2 Pumpun tukkeutuminen

Jos rejektiveden seassa on isoja roskia, voivat ne tukkia pumpun, jolla neste siirretään varastosäiliöstä esisuodattimille. Tukkeutumisen huomaa siitä, ettei paine nouse kunnolla PT101-paineanturilla. Tällöin täytyy pumppu purkaa ja juoksupyörä puhdistaa.

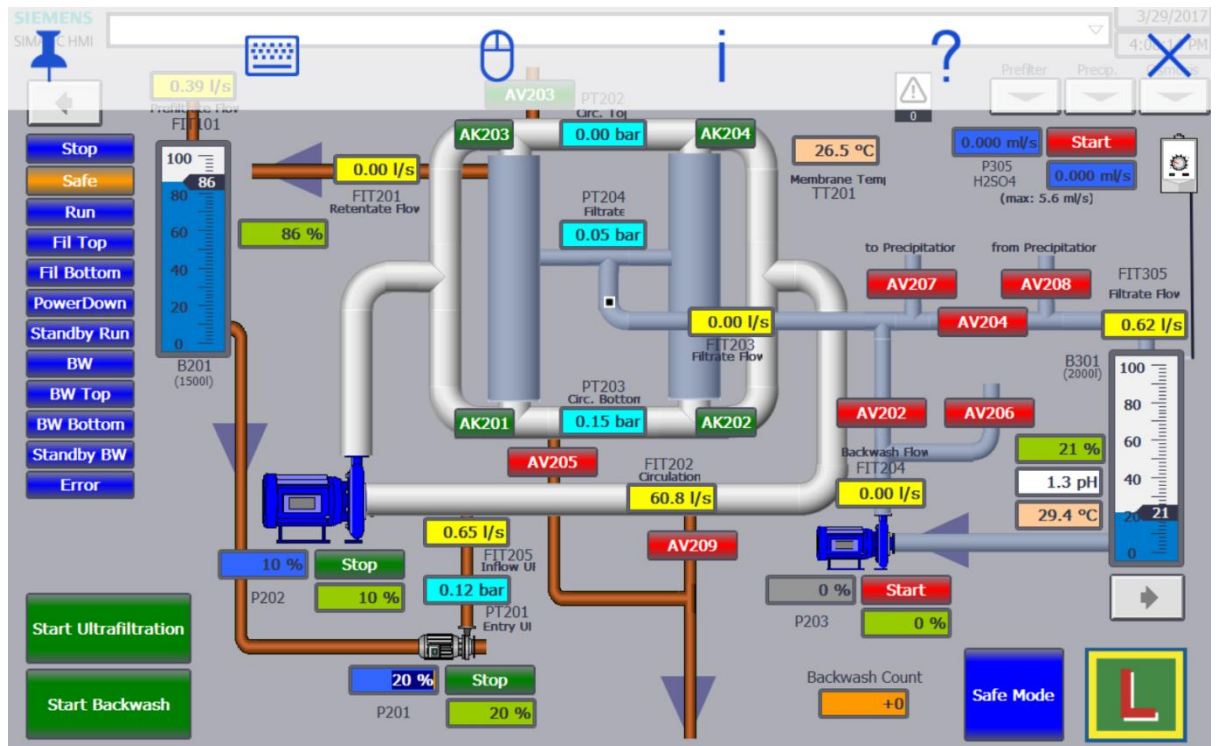
2.3.3 Virtausmittarin kuivuminen

Mikäli laite on ollut pitkään käyttämättä, saattaa virtausmittari kuivua, jolloin se näyttää vääriä lukemia. Tämä voi mahdollisesti johtaa siihen, ettei laitteisto pysy automaattilla päällä, koska se tekee häiriön liian ison tai pienen virtaaman vuoksi. Tällöin laitteistoa ohjataan hetken manuaalisesti, jolloin virtausmittarille saadaan nestettä ja se näyttää taas oikeita lukemia. Tarvittaessa virtausmittarin voi myös irrottaa ja puhdistaa.

3 Ultrasuodatus (UF)



Kuva 3. UF



Kuva 4. Ultrasuodatuksen ohjaus

Ultrasuodatuksessa esisuodatettu neste suodatetaan vielä hienojakoisempaan muotoon. Suodattimet läpäisevä ultrasuodos virtaa B301-säiliöön. Suodattimista läpi pääsemätön aines jää putkistoon kiertoon. Koska putkistossa kiertävä neste väkevöityisi tällöin jatkuvasti, poistetaan putkistosta jatkuvasti pieni osa retentaatiksi kutsuttua nestettä. Retentaatti virtaa putkea pitkin takaisin biokaasuprosessiin (BV300-säiliöön). FIT201- virtausmittari näyttää retentaatin virtaaman. Virtausta voidaan tarvittaessa säätää laitteiston takana olevasta neulaventtiilistä kiertämällä. Retentaatin määrän tulisi olla enintään viidesosa ultrasuodattimelta lähtevän nesteen määrästä.

Ennen suodatuksen aloitusta täytyy varmistaa, että haponsyöttöpumppu on päällä mA-asetuksella. Pumpun tarkoitus on lisätä happoa liuokseen, jotta pH-arvo pysyisi optimaalisena ravinteiden säilymisen kannalta. Lisäksi kaikkien pumppujen taajuusmuuntajien on oltava automaattiasennossa. Myös B201-säiliöstä P201-pumpulle lähtevä käsiventtiili täytyy avata.

3.1 Käyttö automaattisesti

Ultrasuodatus toimii automaattilla hyvin samaan tapaan kuin esisuodatus. Käynnistys tapahtuu painamalla Start Ultrafiltration ja pysäytys painamalla Stop Ultrafiltration. Laitteisto ei kuitenkaan lähde käyntiin, ennen kuin B201-säiliö on vähintään 37 % täynnä. Esisuodatuksen tavoin laitteisto sammuu automaattisesti, jos täytettävä säiliö (B301) täyttyy tai B201-säiliö tyhjentyy. Vastapesun alkamiseen vaikuttavia parametreja voidaan säätää oikean alakulman nuolesta.

3.2 Käyttö manuaalisesti

Avataan AV204-venttiili. Avataan joko AK203- ja AK202-venttiilit (suodatus ylhäältä alas) tai AK201- ja AK204-venttiilit (suodatus alhaalta ylös). Suodatuksen suuntaa täytyy vaihtaa ajoittain (turvallinen aika noin 20 minuutin välein), jotta membraanit eivät tukkeutuisi. Suodatussuuntaa vaihdettaessa on hyvä tehdä myös vastapesu. Vastapesu tapahtuu avaamalla AV202-venttiili sekä joko pohjaventtiili AV205 tai yläventtiili AV203. P203-pumppu käynnistetään. Tavallisesti riittää, kun pesu tehdään noin 50 %:n teholla 20 s:n ajan sekä ylä- että alakautta.

3.3 Putkiston tyhjennys

Putkisto täytyy aina tyhjentää, ennen kuin laitteisto pestään (ei tarvitse tyhjentää ennen vastapesutoimintoa). Tyhjennys tapahtuu pitämällä AV203-, AV205- ja AV209-venttiileitä auki niin kauan, että PT202-, PT203- ja PT204-paineanturit näyttävät nollaa. Kyseiset venttiilit avaamalla putkisto tyhjenee BV300- säiliöön, josta neste päättyy uudelleen biokaasureaktoriin.

3.4 Putkiston täyttö

Mikäli ultrasuodatuslaitteisto on tyhjennetty, täytyy se täyttää manuaalisesti, ennen kuin laitteistoa voidaan ajaa automaattilla. Täyttö tapahtuu avaamalla AV203-venttiili ja käynnistämällä syöttöpumppu P201. Pumpun vieressä olevaan %-kenttään kirjoitetaan teho, jolla pumppua halutaan käyttää. Kun PT204-paineanturin lukema alkaa kasvaa, tiedetään, että laitteiston putkisto on noin puolillaan. Tässä vaiheessa voidaan kierrätyspumppu P202 käynnistää. Mikäli pumppu käynnistetään aiemmin, alkaa se muodostaa putkistoon vaahtoa, joka haittaa antureiden toimintaa. Kun AV203-venttiilin jälkeisestä läpinäkyvästä putkesta alkaa virrata nestettä, voidaan venttiili sulkea ja aloittaa suodatus.

3.5 Mahdollisia ongelmatilanteita

3.5.1 Membraanien tukkeutuminen

Toisinaan membraanit tukkeutuvat niin pahasti, että ne täytyy puhdistaa. Puhdistuksen tarpeen huomaa, kun laitteisto hälyttää PT202- tai PT203-antureilla olevan liian suuri paine. Jos edellä mainittujen paineantureiden paine-ero kasvaa liian suureksi, täytyy myös tehdä pesu.

3.5.2 Ultrasuodattimen jälkeisen kangassuodattimen tukkeutuminen

Ultrasuodatuksen ja B301-säiliön välissä on kangassuodatin, joka tukkeutuu ajoittain. Tukkeutumisen huomaa, kun PT204-anturin painerajasta tulee hälytys tai jos FIT203 virtausmittarin virtaama heikkenee merkittävästi. Suodatin vaihdetaan avaamalla kupu ja asettamalla uusi suodatin vanhan tilalle. Vanhan suodattimen voi pestä vedellä ja käyttää uudelleen.



Kuva 5. Ultrasuodatuksen jälkeinen suodatin

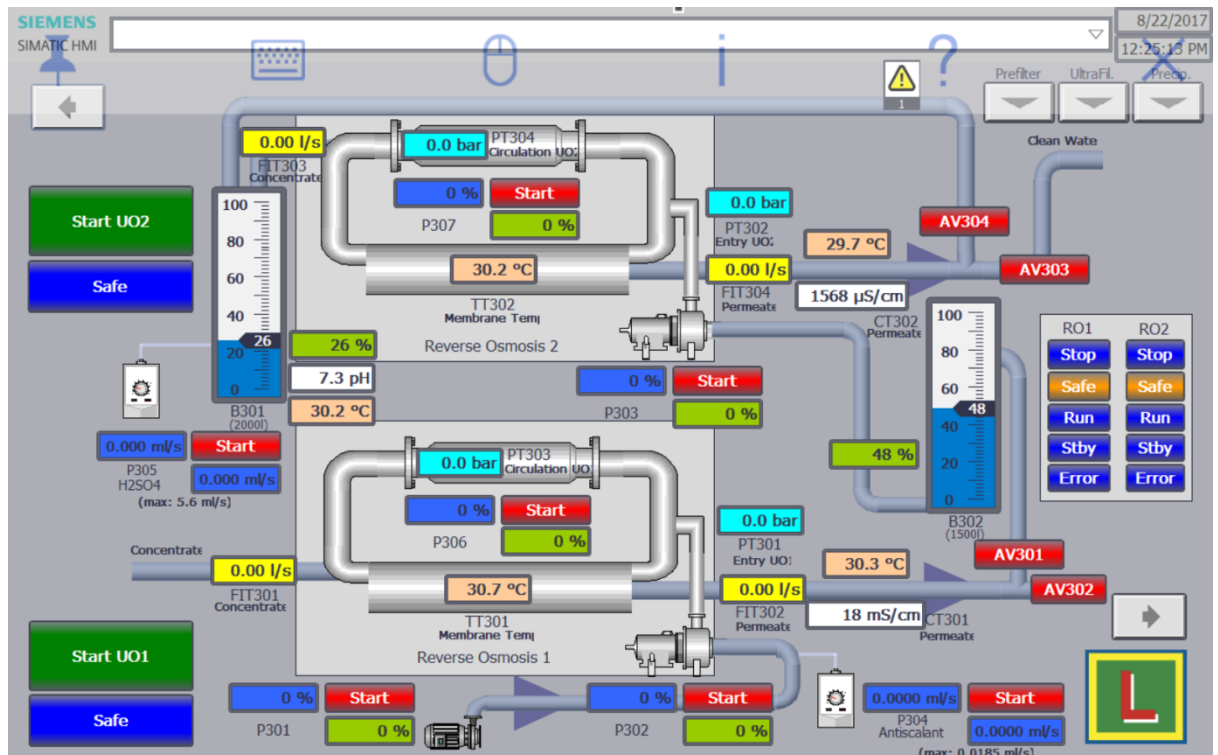
3.5.3 Membraanien ylikuumeneminen

Kesäaikaan laitteistot voivat kuumentua liikaa. Turvarajana on 30 °C. Mikäli membraanien lämpötila nousee sen yli, laitteet eivät käynnisty automaattilla. Laitteistoja voidaan viilentää ajamalla manuaalisesti hiljaksen sisään uutta esisuodatettua rejektivettä tai kylmää vettä. Mikäli lämpötila on huomattavan paljon turvarajan yläpuolella, ei laitteisiin kannata ajaa sisään nestettä, sillä membraanit voivat rikkoutua. Tällöin joudutaan membraaneja jäähdyttämään ulkoisesti esimerkiksi ilmavirralla.

4 Käänteisosmoosi 1 (RO1)



Kuva 6. RO1



Kuva 7. RO ohjaus

Käänteisosmoosilla saadaan ultrasuodatetusta nesteestä erotettua kaksi osaa: permeaatti (noin 75 – 80 %) ja konsentraatti (noin 25 – 20 %). Permeaatilla tarkoitetaan nesteestä erotettua vettä ja konsentraatilla nesteestä erotettua lannoitettivistettä.

Ennen aloitusta täytyy valita, halutaanko puhdistettu vesi ajaa suoraan pesuvekeksi BV800-säiliöön vai ajetaanko vesi vielä paremmin puhdistettavaksi toiselle käänteisosmoosille eli B302-säiliöön. B302-säiliön päällä on kaksi käsiventtiiliä, joiden asentoa kääntämällä saadaan ohjattua vesi kumpaan vain säiliöön. Venttiilejä käännettäessä täytyy huomioida, että ne on mahdollista sulkea siten, että vesi ei mene kumpaankaan säiliöön. Tällöin puhdistettu vesi valuu käänteisosmoosista ylipaineventtiilin kautta viemäriin (vesi kulkeutuu viemäristä mädätysprosessiin).

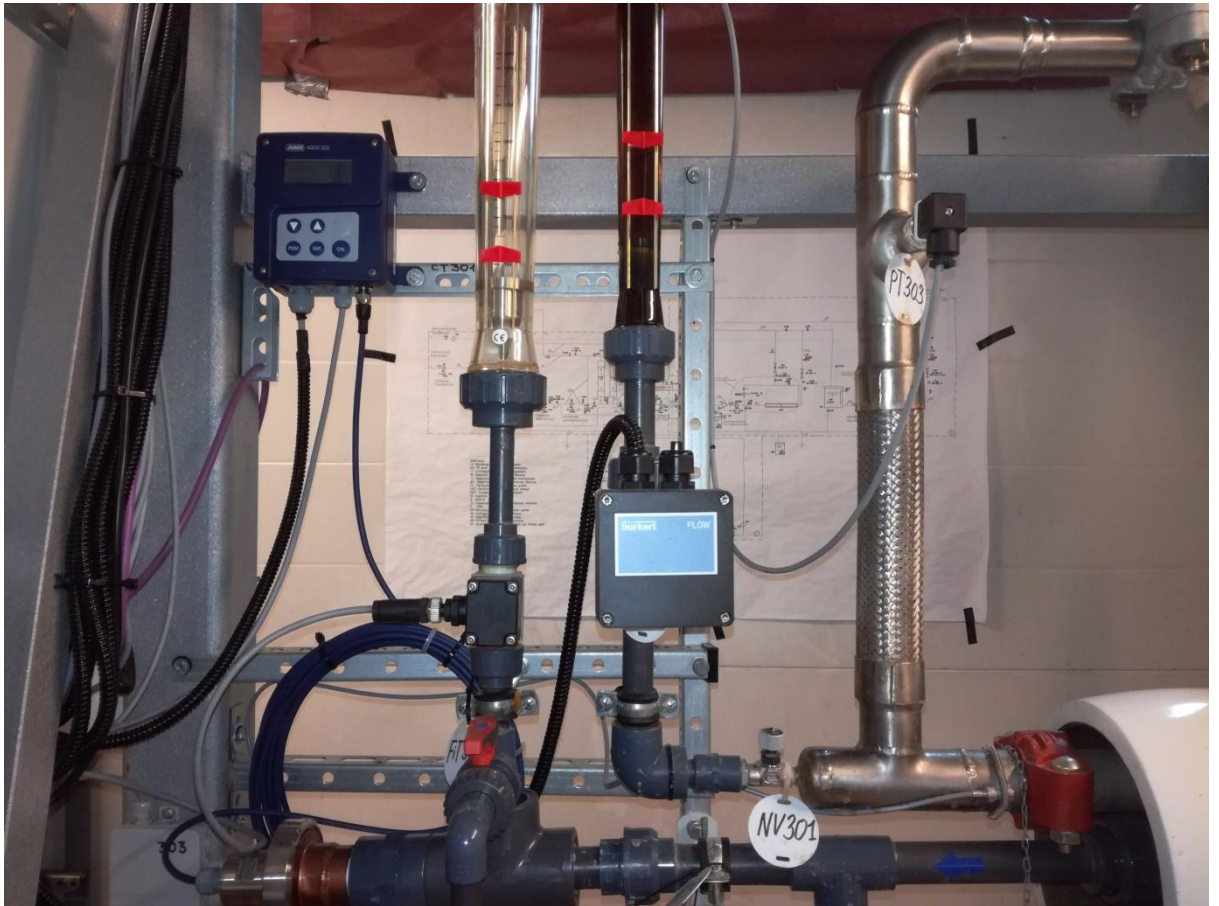
Varmistetaan, että käänteisosmoosilta lähtevässä konsentraattiputkessa oleva käsiventtiili on auki ja että putki on kytkettynä konsentraattisäiliöön. Tarkistetaan myös, että B301-säiliön päällä oleva kolmitieventtiili ei johda permeaattia takaisin B301-säiliöön.



Kuva 8. Venttiilit, joilla ohjataan, mihin säiliöön permeaatti ajetaan.

4.1 Käyttö automaattisesti

Laitteisto käynnistyy Start UO1 -painikkeesta ja sammuu Safe-painikkeesta. Konsentraatin ja permeaatin suhde säädetään membraanin jälkeisellä paineen-säätimellä (NV301) siten, että molempien nesteiden virtausmittarin keila on oh-jausmerkkien välissä. Laitteisto sammuu, mikäli B302-säiliö tulee täyteen tai B301-säiliö tyhjentyy.



Kuva 9. Paineensäädin ja virtausmittarit

4.2 Käyttö manuaalisesti

Avataan AV301-venttiili. Käynnistetään P301- ja P302-pumput puolella halutusta tehosta asettamalla teho siniseen kenttään ja painamalla Start. Kun PT303-paineanturille alkaa tulla painetta, käynnistetään myös P306-pumppu puolella teholla. Asetetaan P304-pumppuun syöttöarvoksi 0,0002 - 0,0005 ml/s ja käynnistetään pumppu (pumppua ei tarvitse käynnistää vaiheittain). Kun kaikki pumput ovat pyörineet hetken, voidaan pumppujen tehot nostaa halutulle tasolle.

4.3 Mahdollisia ongelmatilanteita

4.3.1 Liian pieni konsentraatin tai permeaatin virtaus

Toisinaan laitteisto voi mennä häiriöön liian pienen konsentraatin tai permeaatin virtauksen vuoksi. Tällöin täytyy laitteisto käynnistää uudelleen ja säätää virtaus sopivaksi neulaventtiilillä.

4.3.2 Membraanin ylipaine

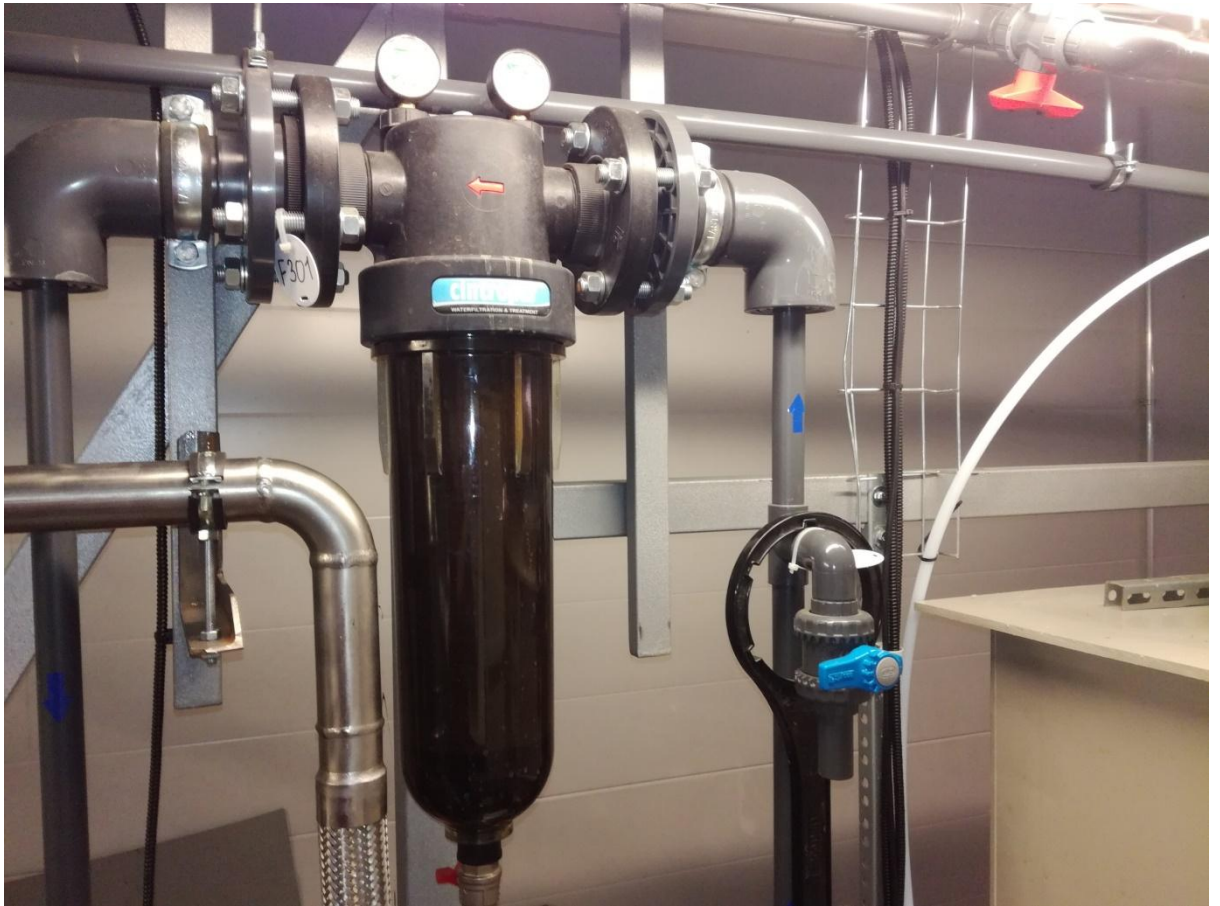
Membraanin paine voi joskus nousta yli 55 Bar:n, jolloin RO1 menee häiriöön. Ylipaine johtuu kalvon tukkeutumisesta. Kalvo puhdistuu hieman laitteen sammuessa, mutta järkevintä on ajaa laitteeseen hieman vettä sisään, jolloin kalvo puhdistuu paremmin ja paine laskee. Mikäli paine nousee vesihuuhtelun jälkeen nopeasti uudelleen, täytyy Membraani pestä (kohta 6.1).

4.3.3 Membraanin ylikuumeneminen

RO1:n lämpöraja on 35 °C. Laitteisto voidaan viilentää kuten UF eli ajamalla sinne manuaalisesti viileää nestettä sisään hitaalla virtauksella.

4.3.4 B301 jälkeisen kangassuodattimen tukkeutuminen

Jos suodatin tukkeutuu, ei käänteisosmoosille tule tarpeeksi virtausta. Suodattimen kunnon voi tarkistaa suodattimessa olevista painemittareista. Kun suodattimelle tuleva ja suodattimelta lähtevä paine ovat lähellä toisiaan, on suodatin hyvässä kunnossa. Suodatin vaihdetaan samalla tavalla kuin ultrasuodatuksen jälkeinen suodatin (kohta 3.5.2).



Kuva 10. B301-säiliön jälkeinen suodatin

5 Käänteisosmoosi 2 (RO2)



Kuva 11. RO2

Toisen käänteisosmoosin tarkoituksena on puhdistaa RO1:ltä tuleva permeaatti vielä puhtaammaksi. RO2 on tavallisesti tarpeeton ja BioKympin laitoksella tätä vaihetta ei tarvita käytännössä ollenkaan. RO2:n käyttö tulee kysymykseen silloin, mikäli vesi jouduttaisiin laskemaan esimerkiksi luontoon.

5.1 Käyttö automaattisesti

Käänteisosmoosi 2 toimii automaattiajossa samalla tavalla kuin käänteisosmoosi 1 (kohta 4.1)

5.2 Käyttö manuaalisesti

Avataan AV303-venttiili. Käynnistetään P303-pumppu puolella halutusta tehosta. Kun PT304-paineanturille alkaa tulla painetta, käynnistetään myös P307-pumppu puolella halutusta tehosta. Kun pumpput ovat pyörineet hetken, voidaan pumppujen tehot nostaa halutulle tasolle.

5.3 Mahdollisia ongelmatilanteita

RO2:sta ei tarvitse juurikaan käyttää, joten sen kanssa ei ole ilmennyt juurikaan ongelmia. Periaatteessa ongelmat voivat olla samoja kuin RO1:ssä, mutta koska sisään syötettävä liuos on jo valmiiksi lähes puhdasta vettä, ei RO2 Tukkeudu.

6 Membraanien pesu

Mikäli laitteita käytetään päivittäin, täytyy membraanit pestä noin kuukauden välein. Ainoastaan toisen käänteisosmoosin membraania ei tarvitse pestä, koska sillä suodatetaan vain vettä. Pesun voi myös joutua tekemään, mikäli membraanit tukkeutuvat pahoin. Pesuaineita käsiteltäessä on tärkeää muistaa käyttää suojalaseja, kumihanskoja ja happeja käsiteltäessä lisäksi myös raitisilmamaskia.



Kuva. Membraanien pesuun tarvittavat välineet

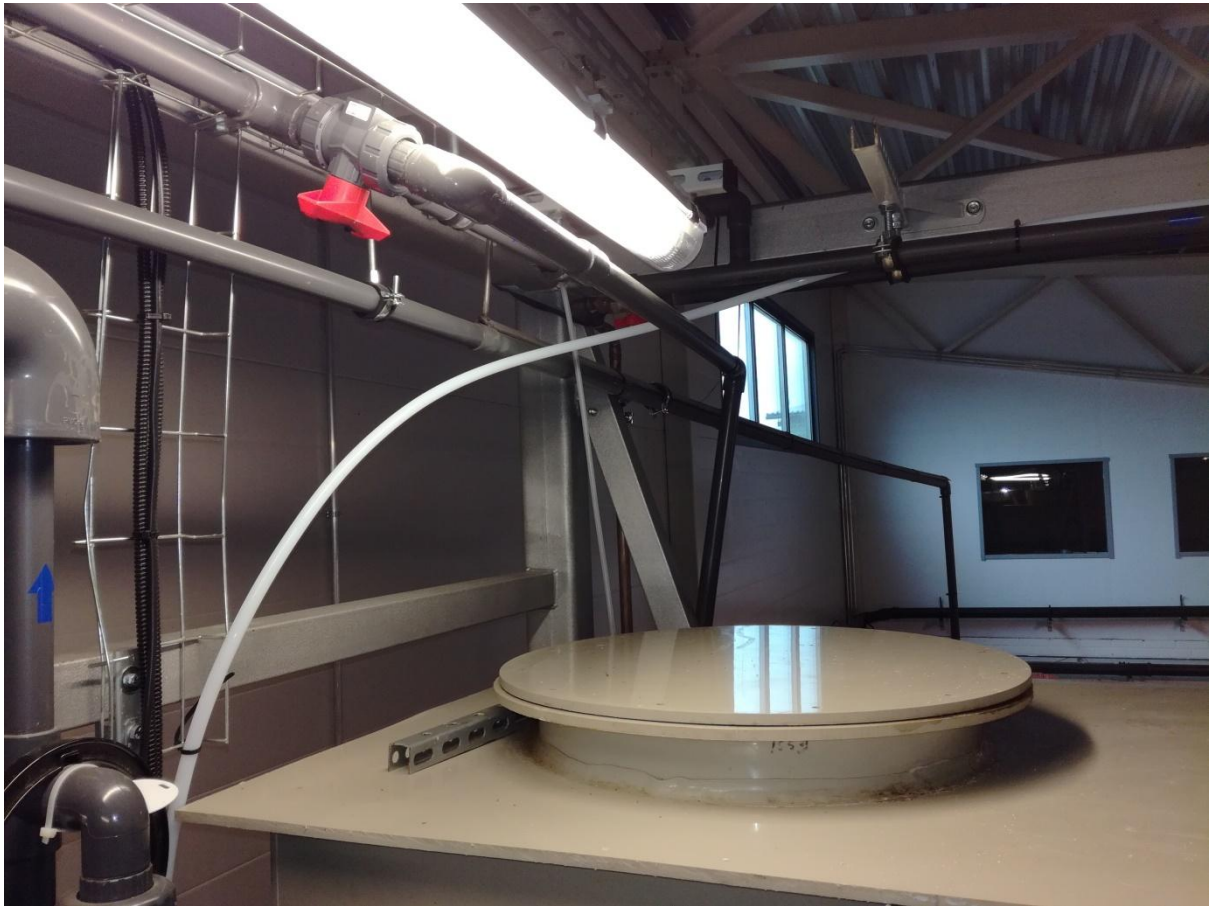
6.1 RO1

Käänteisosmoosilaitteiston B301-säiliön tyhjennetään ja sinne lasketaan vettä 30 - 40 % säiliön tilavuudesta. Veteen lisätään 10 litraa vahvasti emäksistä pesuainetta (esimerkiksi Pintty). Pesuaineliuosta kierrätetään seuraavasti: B301-

säiliön päältä suljetaan oranssi käsiventtiili, ja säiliön takana oleva kolmitieventtiili käännetään siten, että käänteisosmoosilta tuleva neste kiertää takaisin B301-säiliöön. Avataan AV302-venttiili ja käynnistetään pumpput P301, P302 ja P306 manuaalisesti. Pesunestettä kierrätetään vähintään tunti, minkä jälkeen pumpput sammutetaan ja B301-säiliö tyhjennetään pohjahanasta (säiliö voidaan tyhjentää myös P203-pumpulla) ultrasuodatusputkistoon, jolloin samoilla pesuaineilla voidaan pestä myös ultrasuodatuslaitteisto. Seuraavaksi säiliöön laske-
taan 30 - 40 % vettä. Säiliöön lisätään 30 litraa noin 30 %:n vahvuista suola-
happoa. Happoliuosta kierrätetään samalla tavalla kuin emäspesuaainetta
vähintään tunti. Pesun jälkeen säiliö tyhjennetään ja ajetaan vielä jonkin aikaa
siitä puhdasta vettä läpi. Käytetty pesuaine kulkeutuu tyhjennyksessä viemäriin.



Kuva 12. Kolmitieventtiili kierrätysasennossa



Kuva 13. Kierrätyksessä suljettava käsiventtiili

6.2 UF

Ultrasuodatuslaitteistojen membraanien pesu on paras tehdä käänteisosmoosin membraanin pesun yhteydessä. Tällöin voidaan käyttää samaa pesuainetta. Ennen pesua ultrasuodatuslaitteiston putkisto tyhjennetään (katso kohta 3.3). Kun Käänteisosmoosin emäspesu on valmis ja pesuaine on vielä säiliössä B301, avataan venttiilit AV202 ja AV203. Käynnistetään P203-pumppu ja odotetaan että säiliön pinta laskee 7 %:n tasoon (jos pumppua pidetään päällä pidempään, vetää se putkistoon ilmaa). Ajetaan laitteistoja muuten samalla tavalla kuin manuaalisesti (kohta 3.2), mutta pidetään AV204-venttiili kiinni. Lopuksi tyhjennetään putkisto. Käänteisosmoosin happopesun jälkeen ajetaan happoliuos ultrasuodatuslaitteistoon ja suoritetaan pesu samalla tavalla kuin emäspesuaineella. Lopuksi tyhjennetään putkisto, täytetään se kertaalleen vedellä ja sitten vielä tyhjennetään.

7 Tuotannon pysäyttäminen

Kun laitteistoa ei käytetä yli kolmeen päivään, täytyy Membraaneihin (UF ja RO1) ajaa sisään natriumbisulfaattiliuos, jotta membraanien kalvot pysyvät käyttökunnossa. Natriumbisulfaattiliuos jätetään laitteistojen sisään siihen asti, kunnes laitteita aletaan taas käyttää. Liuos tehdään täyttämällä säiliöt B201 ja B301 noin 30 % vedellä ja lisäämällä veteen 2 - 3 litraa natriumbisulfaattijauhetta. Ultrasuodatuslaitteiston putkisto tyhjennetään (kohta 3.3) ensin ja ajetaan sen jälkeen liuos laitteiston sisään (kohta 3.4). Liuosta kierrätetään membraanien läpi samalla tavalla kuin manuaalisesti laitteistoa ajettaessa (kohta 3.2) mutta pidetään AV204-venttiili kiinni. Käänteisosmoosilaitteistoon natriumbisulfaatti ajetaan sisään samalla tavalla kuin pesuaineet (kohta 6.1).

Landco-moduulin keräämä data 5.9.2017

Tässä liitteessä on esimerkki Landco-moduulin päivittäin keräämästä datasta. Tiedot saa sekä csv.gz-, cql.gz- että pdf- muodossa. Kahden ensimmäisen muodon dataa voi tarkastella esimerkiksi Excelissä. Pdf-muotoinen data on valmiiksi kuvaajiksi piirretynä. Sitä on nopein ja helpoin tulkita. Liitteessä oleva data on kopioitu pdf-tiedostosta.

Kaikissa taulukoissa x-akseli esittää ajan ja y-akseli esittää alla luetellut tiedot. Osa tiedoista ei pidä paikkaansa. Esimerkiksi saostuslaitteisto kerää jo dataa, vaikkei koko fyysistä laitteistoa ole vielä datan luontihetkellä asennettu.

Taulukoissa olevien tietojen selitteet:

Azud: paineet ja virtaus

UF: paineet ja virtaus

UF: permeabiliteetti, nopeus ja lämpötila

RO1: paine, virtaus ja permeabiliteetti

RO1: lämpötila, johtokyky, tarttumisenestoaineen annostelu

RO2: paine, virtaus ja permeabiliteetti

RO2: lämpötila, johtokyky, tuotto

Hapon annostelu: virtaus B301-säiliöön, H₂SO₄-annostelu, B301 pH

Tuotanto: UF-tuotto-%, RO1-tuotto-%, RO2-tuotto-%

Saostus: virtaus, täyttöaste, fosforihapon annostelu

Saostus: saostusastian 1 happamuus, saostusastian 2 happamuus, kuivaus-lämpötila

Energiankulutustiedot: hetkellinen virrankulutus, teho, sähköenergian kulutus.

Prefilter Operations 2017-09-05

